Priprema ispitivanja značajki eksperimentalnog svežnja alkalnog elektrolizatora

Maruševac, Tena

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:126583

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Tena Maruševac

Zagreb, 2016

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Dražen Lončar, dipl. ing.

Studentica:

Tena Maruševac

Komentorica:

Dr. sc. Ankica Đukić, dipl. ing.

Zagreb, 2016.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći stečenaznanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Veliku zahvalnost dugujemposlijedoktorandici, dr. sc. Ankici Đukić i prof. dr. sc. Mihajlu Firaku na svoj pruženoj pomoći i potpori tijekom izrade rada, te višem tehničaru Milanu Šulentiću na pomoći i savjetovanju tijekom izrade dijelova.

Zahvaljujem setvrtkama Festo i Laser inženjering na dobivenim donacijama u obliku materijala i izrade dijelova elektrolizatora.

Također se zahvaljujem svim profesorima i asistentima koji su mi omogućili stjecanje znanja potrebnih za izradu rada te općenito za buduću inženjersku karijeru.

I na kraju, velika hvala obitelji, partneru i prijateljima koji su uvijek bili uz mene i bez kojih ništa od ovog ne bi bilo moguće.

Tena Maruševac

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodostrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Tena MARUŠEVAC** Mat. br.: 0035185989

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **PRIPREMA ISPITIVANJA ZNAČAJKI EKSPERIMENTALNOG SVEŽNJA ALKALNOG ELEKTROLIZATORA**

Naslov rada na engleskom jeziku: **PROCEDURES FOR PERFORMANCES INVESTIGATION OF AN ALKALINE ELECTROLYZER STACK**

Opis zadatka:

Danas jedina komercijalna tehnologija za proizvodnju vodika bez popratnih štetnih emisija je proces elektrolize vode u alkalnom ili PEM elektrolizatoru. Na FSB-u napravljeni su proračuni i izrađeni nacrti konstrukcije svežnja alkalnog elektrolizatora. Eksperimentalna staza uključuje izvor istosmjerne struje (laboratorijski izvor ili PV modul), separatore vodika i kisika, međuspremnike elektrolita, spremnike vodika i kisika, dvije centrifugalne pumpe, hvatače nečistoća te sustav za mjerenje i obradu podataka (osjetnici protoka, tlaka, temperature i mjerna centrala podržana računalom i odgovarajućim softwareom).

U okviru rada potrebno je:

1. Napraviti dopune postojećih nacrta,
2. Izraditi svežanj alkalnog elektrolizatora bipolarne konstrukcije s tri elektrolitička članka u serijskoj vezi s obzirom na električnu struju i paralelnoj vezi s obzirom na protok elektrolita,
3. Pripremiti mjerenja, uključivo uklapanje svežnja alkalnog elektrolizatora u mjerni sustav, postavljanje mjernih osjetnika, provjera brtvljenja spremnika kao i provjera separatora na propuštanje,
4. Izraditi sve potrebne sheme mjernih lanaca i detaljan plan mjerenja s opisom i provjerom procedure mjerenja.

U tekstu završnog rada potrebno je navesti korištenu literaturu i eventualnu pomoć pri izradi.

Zadatak zadan:
25. studenog 2015.

Rok predaje rada:
1. rok: 25. veljače 2016
2. rok (izvanredni): 20. lipnja 2016.
3. rok: 17. rujna 2016.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 29.2., 02. i 03.03. 2016.
2. rok (izvanredni): 30. 06. 2016.
3. rok: 19., 20. i 21. 09. 2016.

Zadatak zadao:
Izv. prof. dr.sc. Dražen Lončar

Predsjednik Povjerenstva:
Prof. dr. sc. Igor Balen

SADRŽAJ

SADRŽAJ I
POPIS SLIKA III
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE IV
SAŽETAK V
SUMMARY VI
1. UVOD 1
2. ELEKTROLIZATOR 2
2.1. Kratka povijest 2
2.2. Alkalni elektrolizator 3
2.3. Osnove elektrolize 4
3. KONSTRUKCIJA 6
3.1. Usporedba spostojećim elektrolizatorom u Laboratoriju za energetska postrojenja 6
3.2. Opis funkcioniranja 7
3.3. Glavne komponente elektrolizatora i njihova funkcija 8
3.3.1. Rubne ploče 11
3.3.2. Monopolarne i bipolarne ploče 14
3.3.3. Membrana 16
3.3.4. Brtve 18
3.3.5. Elektroda (Ni – metalna pjena) 20
3.3.6. Prsten 22
3.3.7. Priključci za dovod i odvod elektrolita 23
3.3.8. Cijevi 25
3.3.9. Postolje 25
4. SPAJANJE U SUSTAV ZA PROIZVODNJU VODIKA [2] 27
4.1. Separator [2] 27
4.2. Spremnici za pohranu elektrolita [2] 28
4.3. Spremnici za pohranu vodika i kisika [2] 28
4.4. Pumpa [2] 29
4.5. Hvatač nečistoća [2] 30
4.6. Elekrolit [2] 30
4.7. Izvor električne energije 31

4.7.1. Fotonaponski (PV) modul [2] 31
4.7.2. Laboratorijski izvor električne energije 32
5. Mjerenje 33
5.1. Mjerna mjesta [2] 33
5.2. Mjerni osjetnici 34
5.2.1. Mjerni osjetnik temperature (termopar) K – tip [2] 34
5.2.2. Mjerni osjetnik diferencijalnog tlaka: PX26 – 001 DV [2] 34
5.2.3. Mjerni osjetnik protoka: FT – 210 [2] 35
5.3. Računalom podržano prikupljanje i obrada izmjerenih podataka [2] 36
5.4. Shema sustava za proizvodnju vodika [2] 36
6. ZAKLJUČAK 38
7. LITERATURA 39

POPIS SLIKA

Slika 1. Postrojenje za industrijsku elektrolizu vode [1]. 3
Slika 2. Monopolarna i bipolarna izvedba elektrolizatora [1]. 4
Slika 3. Pojednostavljena shema bipolarne izvedbe alkalnog elektrolizatora. 4
Slika 4. Usporedba UI karakteristika postojećeg i novog elektrolizatora [1]. 6
Slika 5. Strujanje elektrolita i plinova unutar jednog članka. 7
Slika 6. Prikazbipolarne izvedbe alkalnogelektrolizatora s označenim pozicijama. 9
Slika 7. Alkalni elektrolizator bipolarne izvedbe_1 - fotografija. 10
Slika 8. Alkalni ektrolizator bipolarne izvedbe_2 - fotografija. 10
Slika 9. Prednja rubna ploča – nacrt. 12
Slika 10. Prednja rubna ploča - fotografija. 12
Slika 11. Krajnja rubna ploča – nacrt. 13
Slika 12. Krajnja rubna ploča - fotografija. 13
Slika 13. Monopolarna ploča – nacrt. 14
Slika 14. Bipolarna ploča – nacrt. 15
Slika 15. Zavareni sklop monopolarne ploče i pločice za dovod struje - fotografija. 15
Slika 16. Bipolarne ploče - fotografija. 16
Slika 17. Membrana – nacrt. 17
Slika 18. Membrana - fotografija. 17
Slika 19. Brtva – nacrt. 18
Slika 20. Brtve 1 - fotografija. 19
Slika 21. Brtva uz rubnu ploču - nacrt. 19
Slika 22. Brtve 2 - fotografija. 20
Slika 23. Elektroda – nacrt. 21
Slika 24. Elektrode - fotografija. 21
Slika 25. Prsten – nacrt. 22
Slika 26. Prsteni - fotografija. 23
Slika 27. Priključak za dovod i odvod elektrolita - sklopni crtež. 24
Slika 28. Priključci za dovod i odvod elektrolita – fotografija. 24
Slika 29. Cijevi - fotografija. 25
Slika 30. Postolje – nacrt. 26
Slika 31. Postolje - fotografija. 26
Slika 32. Separator [2]. 27
Slika 33. Spremnik elektrolita [2]. 28
Slika 34. Spremnik za pohranu nastalih plinova [2]. 29
Slika 35. Centrifugalna pumpa [2]. 29
Slika 36. Hvatač nečistoća [2]. 30
Slika 37. Priprema elektrolita: granule KOH lijevo i destilirana voda desno [2]. 31
Slika 38. Fotonaponski (PV) modul [2]. 31
Slika 39. DC/DC laboratorijski izvor napajanja- Heinzinger. 32
Slika 40. Osjetnik temperature (termopar) K – tip [2]. 34
Slika 41. Osjetnik diferencijalnog tlaka PX26 - 001 DV [2]. 35
Slika 42. Mjerni osjetnik protoka: FT – 210 [2]. 35
Slika 43. Računalom podržano prikupljanje i obrada izmjerenih podataka [2]. 36
Slika 44. Shema sustava za proizvodnju vodika s podsustavom za mjerenje [2]. 37

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

3D sklopni crtež elektrolizatora

Sklopni crtež priključka

01-01 Postolje

01-02 Prednja rubna ploča

01-03 Brtva 2

01-04 Monopolarna ploča

01-05 Membrana

01-06 Bipolarna ploča

01-07 Elektroda

01-08 Brtva 1

01-09 Prsten

01-10 Krajnja rubna ploča

01-11 Pločica za dovod struje

12-1 Priključak – nepomični dio

12-2 Priključak – spojni dio

12-3 Priključak – matica

12-4 Brtva gumena plosnata

12-5 Brtva gumena torusna

Shema

SAŽETAK

Radi klimatskih promjena koje su prouzročene naglim porastom koncentracije ugljikovog dioksida (CO_2) u atmosferi te smanjenjem naftnih rezervi, svjetska industrija primorana je ulagati u alternativna goriva. Radi njegovih velikih potencijala napokon je data prilika vodiku i vodikovim tehnologijama (tehnologije proizvodnje, pohrane, distribucije i korištenja vodika).

Ovaj završni rad prikazuje konstrukciju alkalnog elektrolizatora bipolarne izvedbe te njegovo priključivanje u sustav za proizvodnju vodika i podsustav za mjerenje. U radu je opisan osnovni princip elektrolize, odnosno procesa koji se odvija unutar elektrolizatora. Tu je teoriju bilo potrebno usvojiti kako bi razumjeli funkciju pojedinih dijelova elektrolizatora, odnosno u konačnici princip rada elektrolizatora.

U trećem poglavlju (3. Konstrukcija) prikazan je detaljn opis konstrukcije i nabave dijelova alkalnog elektrolizatora bipolarne izvedbe s tri elektrolitička članka te pripadajućom tehničkom dokumentacijom. Također su predstavljene proračunate značajke elektrolizatora. U četvrtkom poglavlju (4. Spajanje u sustav za proizvodnju vodika) prikazano je spajanje elektrolizatora u postojeći sustav za proizvodnju vodika, a u petom poglavlju (5. Mjerenje) spajanje na podsustav za mjerenje.

Ključne riječi: vodik, elektrolizator, elektroliza, konstrukcija elektrolizatora, sustav za proizvodnju vodika, podsustav za mjerenje.

SUMMARY

Climatechange caused by sudden increase of carbon dioxide (CO_2) in the atmoshpere and depletion of fossil fuel reserves areforcing the world industry to invest in alternative fuels. Because of its great potential, the oportunity is finaly given to the hydrogen and hydrogen technologies (technology of hydrogen production, storage, distribution and utilization).

This thesis gives construction of an alkaline electrolyzer of bipolar design and its instalation into the system for hydrogen production and measurement subsystem. A basic preview of the electrolysis, the process inside the electrolyzer, is given because it is crucial for understanding the way different parts of the electrolyzer and the electrolyzer operation.

The third section (3. Design) conists of detailed description of design and procurement of the parts for alkalineelectrolyzer of bipolar design with three electrolytic cells and related technical documentation. The calculated properties of the electrolyzer are given as well. Thefourth section (4. Integration into hydrogen production system) represents installation of the electrolyzer into existing system for hydrogen production. Finally, the installation of subsystem for measurement is given in the fifth section (5. Measurements).

Key words: hydrogen, electrolyzer, electrolysis, electrolyzer design, hydrogen system, measurement subsystem.

1. UVOD

Živimo u vremenu u kojem su klimatske promjene sve očiglednije, a količine ugljikovog dioksida (CO_2) u atmosferi nemilorsdno rastu. U zadnjih 400 000 godina jedva da su prelazile 280 ppm, da bi 2013. godine prešle 400 ppm. Što je najgore, ukoliko ubrzo ne uvedemo neke rigorozne mjere, njegove količine mogle bi se do 2050. godine još i udvostručiti. S druge strane, rezervi fosilnih goriva sve je manje te se predviđa da će ih za 100 godina ponestati.

Iz tog raloga države sve više potiču kupnju električnih vozila i hibrida, ali i energetsku obnovu samih kuća te kupnju niskoenergetskih kućanskih uređaja.Cilj je smanjenjem potrošnje svih vrsta energije smanjiti potrošnju fosilnih goriva. No, uz sve te mjere, količine CO_2u atmosferi još uvijek rastu.

Jedno od rješenja navedenih problema je vodik. Vodika u spojevima na Zemlji ima u ogromnim količinama, a njegova visoka energetska vrijednost i činjenica da izgaranjem daje kemijski čistu vodu razlog su zašto ga brojni inženjeri nazivaju gorivom budućnosti. Također, njegovi su potencijali ogromni. Vodik predstavlja rješenje pohrane električne energije dobivene korištenjem obnovljivih izvora energija, a pomoću gorivnih članaka može se,osim za pogon automobila, koristiti i u uređajima u domaćinstvu ili industriji, a dobivena otpadna toplina može se koristiti za grijanje.

Kako vodika nema slobodnog u prirodi te se može dobiti jedino razlaganjem spojeva, u okviru ovog rada opisana je njegova proizvodnja elektrolizom vode. Prikazana je konstrukcija trenutno najrazvijenije tehnologije za dobivanje vodika, odnosno alkalnog elektrolizatora. Ovdje opisani i konstruirani alkalni elektrolizator je bipolarne izvedbe u kojem se koristi 25% otopina kalijevog hidroksida (KOH) u vodi kao tekući elektrolit, a elektrode su mu izrađene od čistog nikla u obliku metalne pjene, dimenzija Ø70mm x 2mm.

Konstrukcija se zasniva na prethodno izrađenom diplomskom radu, a napravljene su dopune i ispravke postojećih nacrta.

Osim same konstrukcije prikazana je priprema mjerenja i postavljanje elektrolizatora u sustav za elektrolizu vode te su izvedene sve potrebne sheme mjernih lanaca i detaljan plan mjerenja s opisom i provjerom procedure mjerenja.

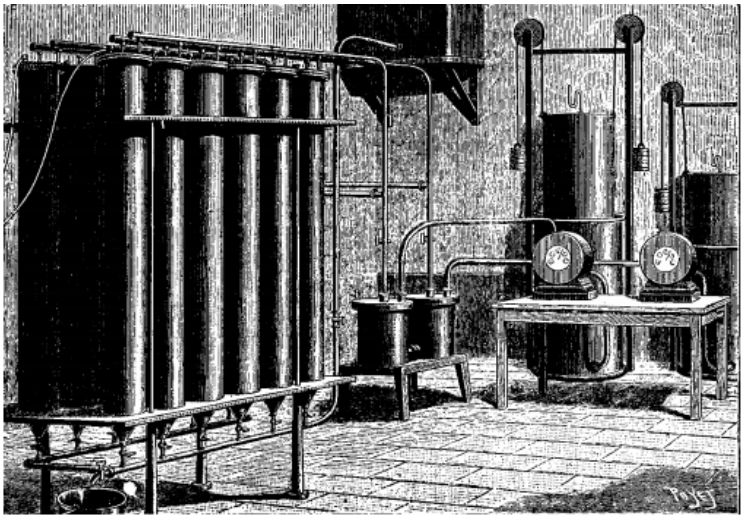
2. ELEKTROLIZATOR

Elektrolizator je elektrokemijski uređaj u kojemu se pomoću elektrolize vode proizvode vodik i kisik u plinovitim fazama. Proces se naziva elektrokemijski jer se pomoću istosmjerne električne energije dobiva kemijska energija spremljena u vodiku. Količina proizvodnje vodika je direktno vezana na broj članaka u elektrolizatoru. Što je veći broj članaka, veća je i proizvodnja vodika, ali se također mora dovoditi veći napon. Jedan članak sastoji se od nekoliko osnovnih dijelova: elektrode (anode i katode) i membrane. Na anodi (+) odvija se reakcija oksidacije, odnosno odvaja se plinoviti kisik, a na katodi (-) reakcija redukcije, odnosno odvaja se plinoviti vodik. Membrana služi za odvajanje ta dva procesa kako ne bi došlo do miješanja njihovih produkata. Tip elektrolizatora se određuje prema vrsti elektrolita koji se u njemu koristi pa tako elektrolizatori koji koriste lužinu kao elektrolit za proces elektrolize nazivaju se alkalni elektrolizatori.

2.1. Kratka povijest

U posljednjih 200 godina bilježi se konstantan razvoj tehnologija koje uključuju elektrolizu vode, odnosno uređaja koji sudjeluju u samom procesu – elektrolizatora. Nakon otkrića električne energije, J.R. Deaiman i A.P. van Troostwijk 1789.godine izveli su eksperiment kojim su uspjeli stvoriti plin iz vode. U tom eksperimentu su pomoću elektrostatičkog generatora i zlatnih žica koje su uronili u posudu ispunjenu vodom uspješno izveli proces elektrolize vode. Kasnije se ustvrdilo da su ti plinovi vodik i kisik. Razvojem elektrokemije ustanovila se proporcionalna veza između utrošene električne energije i dobivene količine plinova, što je danas poznato kao Faraday-evi zakoni elektrolize. Na taj način koncept elektrolize konačno je znanstveno definiran i opće prihvaćen. Izumom Gramme – ovog stroja 1869. godine elektroliza postaje ekonomična metoda za proizvodnju vodika. Do 1902. godine u funkciji je bilo više od 400 industrijskih elektrolizatora.

Velika potreba za gnojivom na bazi amonijaka započela je nagli razvoj postrojenja za elektrolizu vode u prvoj polovici dvadesetog stoljeća. Sami razvoj alkalnih sustava elektrolize započinje krajem 70 – tih godina [1].

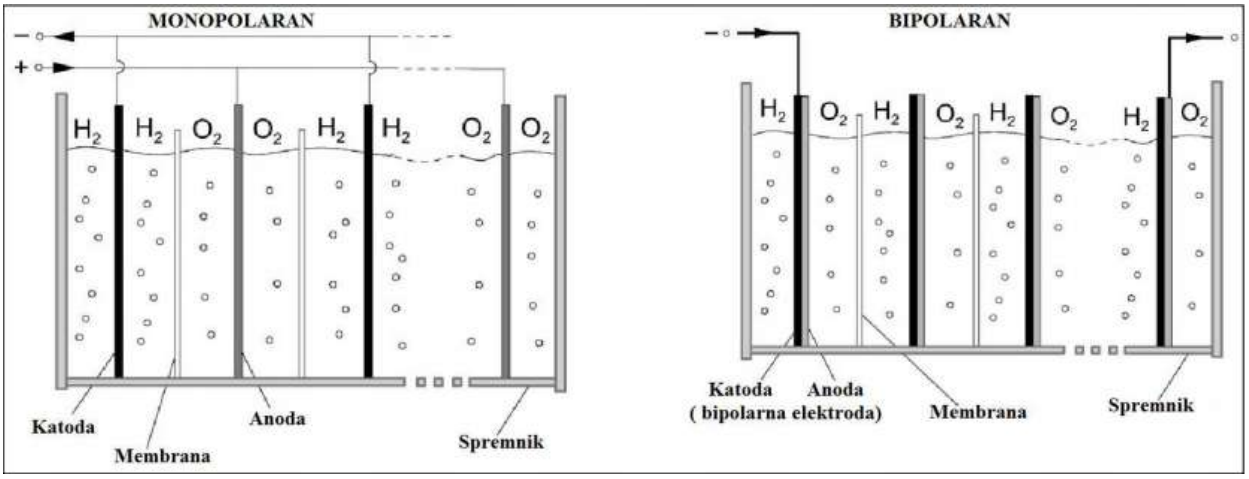


Slika 1. Postrojenje za industrijsku elektrolizu vode [1].

2.2. Alkalni elektrolizator

Alkalni elektrolizatori jedni su od najrazvijenijih sustava za proizvodnju vodika. Kao elektroliti najčešće se koriste otopina KOH u vodi, odnosno otopina natrijevog hidroksida (NaOH) u vodi. Oba ova tipa elektrolita vrlo su visokog stupnja koncentracije vodikovih iona u elektrolitu (pH = 13 do 14). Koncentracije navedenih elektrolita kreću se u rasponu od *wt* 25 % do *wt* 30 %. Energetska iskoristivost alkalnih elektrolizatora kreće se od 60 % do 90 %. Konvencionalni alkalni elektrolizatori najvišu iskoristivost postižu pri radnim temperaturama od 60 °C do 90 °C i tlaku približno jednakom tlaku okoline. Naponi pri kojima rade su od 1,80 V do 2,20 V pri čemu su gustoće električne struje ispod 0,40 A/cm^2. Za razliku od konvencionalnih, napredni alkalni elektrolizatori rade pri relativno niskim naponima od 1,60 V uz visoke gustoće električne struje i do 2,00 A/cm^2. Rasponi proizvodnje vodika u alkalnim elektrolizatorima kreću se od 0,01 m^3/h do 10 m^3/h s tim da velike jedinice dostižu i proizvodnju između 10 i 100 m^3/h[1,2].

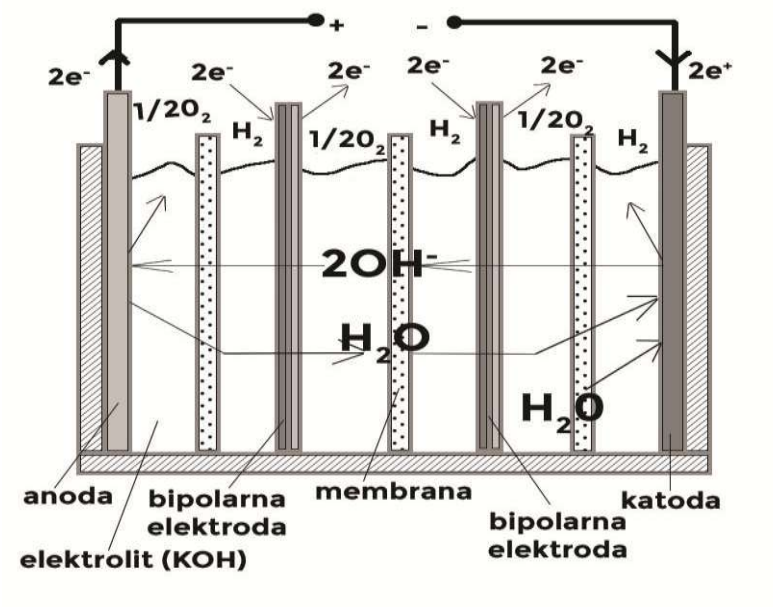
Alkalni elektrolizatori razlikuju se i prema vrsti spajanja u strujni krug. Tako razlikujemo bipolarne i monopolarne izvedbe elektrolizatora. Razlika je u tome što su kod bipolarne izvedbe elektrolizatora članci povezani u seriju i u geometrijskom i u električnom smislu, te se ista elektroda koristi i kao anoda i kao katoda. Kod monopolarne izvedbe elektrolizatora članci su povezani u seriju samo geometrijski, a u električnom smislu u paralelu, te jedna elektroda ima ulogu anode, a druga katode.



Slika 2. Monopolarna i bipolarna izvedba elektrolizatora [1].

2.3. Osnove elektrolize

Elektroliza vode je elektrokemijski proces koji se odvija u elektrolizatoru. Kako je u opisu elektrolizatora već ukratko objašnjen princip elektrolize, u ovom je poglavlju detaljnije opisan taj proces, pomoću pojednostavljene sheme bipolarne izvedbe alkalnog elektrolizatora prikazanom u ovom završnom radu.



Slika 3. Pojednostavljena shema bipolarne izvedbe alkalnog elektrolizatora.

Na vanjski krug istosmjerne struje spojene su dvije vanjske elektrode, odnosno anoda i katoda. Anoda je spojena na pozitivan pol, što joj daje pozitivan naboj, a katoda na negativan pol, što joj daje negativan naboj.Između anode i katode dolazi do pada napona. Taj pad napona uzrokuje nabijanje bipolarnih elektroda po pravilu da se dio elektrode koji prima električnu energiju nabija pozitivno, a onaj koji ju predaje negativno. Da bi došlo do procesa elektrolize, istosmjerni napon na svakoj elektrodi mora biti jednak ili veći od reverzibilnog napona (U_{rev}) koji iznosi 1,23 V. Prije tog napona ne započinje proces elektrolize [2].

Na elektrodama dolazi do odvijanja redoks reakcija, odnosno do izmjene elektrona između dva sustava. Na katodi se odvija redukcija, odnosno oslobađanje elektrona kojeg prima vodikov kation iz molekule vode. Prilikom toga dolazi do razlaganja molekule vode te nastaje atom vodika. Na anodi se odvija oksidacija. Ovdje negativno nabijeni hidroksidni ion koji je nastao na katodi otpušta elektron te se oslobađa atom kisika.

Kemijske reakcije elektrolize, odnosno polureakcije koje se odvijaju na elektrodama prikazane su u slijedećim jednadžbama [1, 2]:

Na katodi se odvija redukcija i nastaje vodik (u plinovitom stanju):

$$2H_2O(l) + 2e^- \rightarrow H_2(g) + 2OH^-(aq) \quad (1)$$

Na anodi se odvija oksidacija pri kojoj nastaje kisik (u plinovitom stanju):

$$2OH^-(aq) \rightarrow \frac{1}{2}O_2(g) + H_2O(l) + 2e^- \quad (2)$$

Ukupna reakcija procesa elektrolize je:

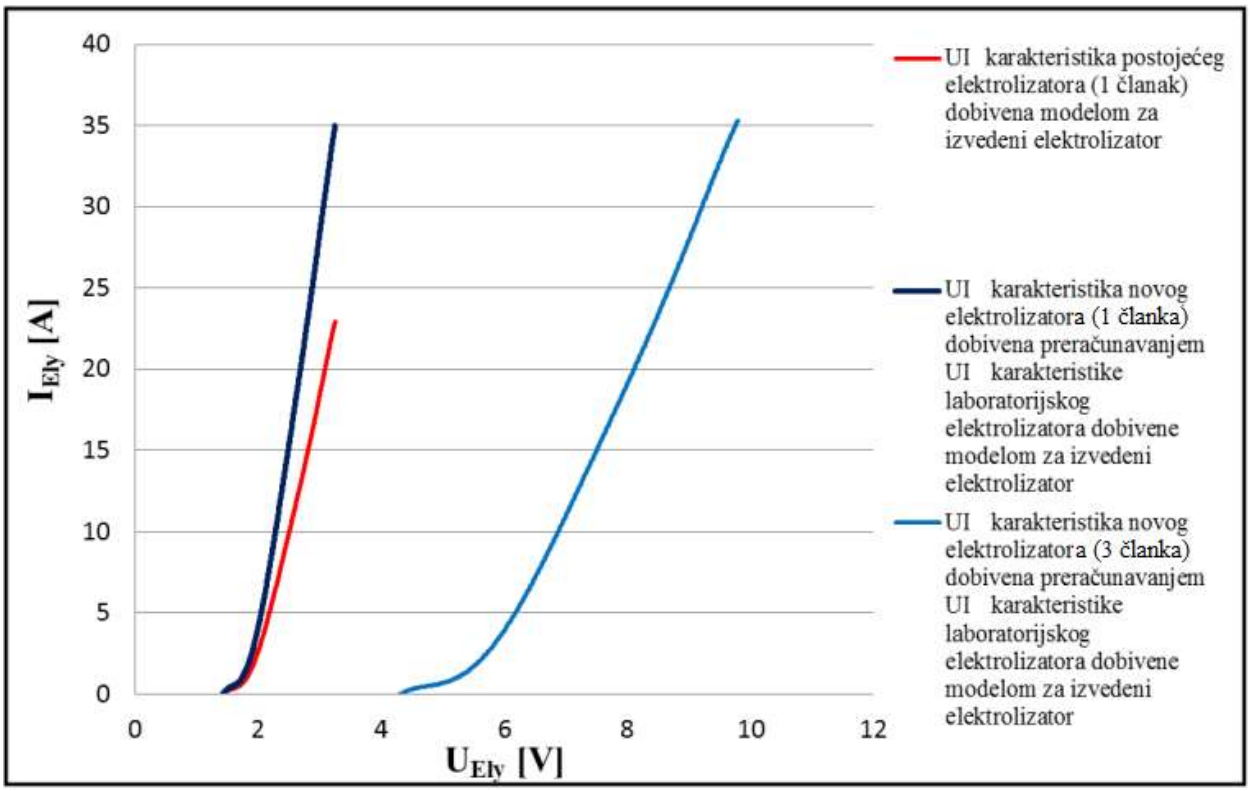
$$2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2 \quad (3)$$

3. KONSTRUKCIJA

3.1. Usporedba spostojećim elektrolizatorom u Laboratoriju za energetska postrojenja

Proračunom izračunata masa vodika koja bi se proizvodila novim elektrolizatorom je 0,001138 kgH_2/h dok postojeći elektrolizator u Laboratoriju za energetska postrojenja pri istoj struji i većem naponu u toj radnoj točki proizvodi 0,000246503 kgH_2/h[1].

Novi elektrolizator s tri članka radi pri 3x većem naponu i 1,54x većoj struji nego postojeći elektrolizator. Na slici 4 prikazana je usporedba radne (UI) karakteristike novog i već postojećeg elektrolizatora.

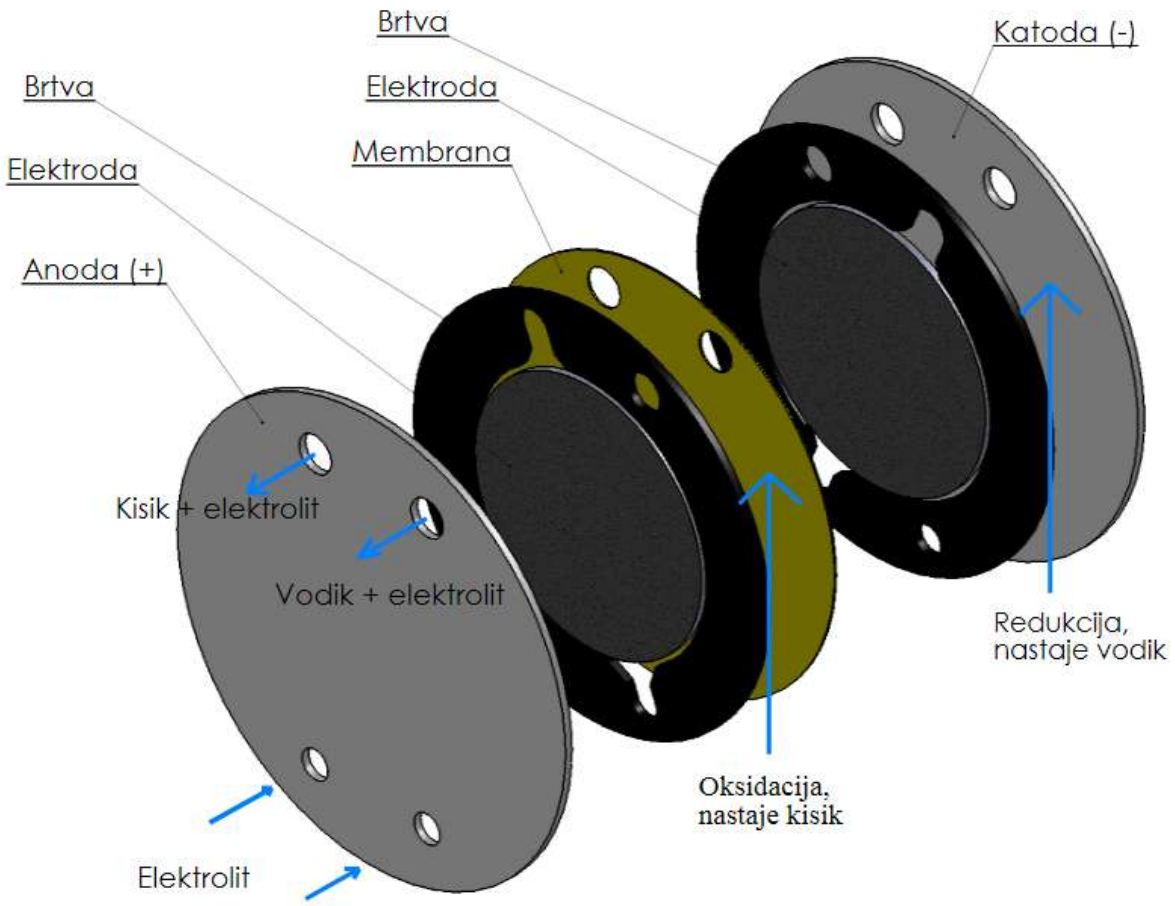


Slika 4. Usporedba UI karakteristika postojećeg i novog elektrolizatora [1].

3.2. Opis funkcioniranja

Elektrolizator konstruiran u sklopu ovog rada je bipolarne izvedbe. Sastoji se od tri članka koji su povezani u seriju. Preko monopolarnih ploča elektrolizator je povezan u strujni krug između kojih dolazi do pada napona. Članke razdvajaju bipolarne ploče koje s jedne strane poprimaju značajke anode, a s druge strane katode.

Elektrolit se dovodi kroz otvore s donje strane elektrolizatora koji se prolaskom kroz elektrolizator potiskuje kroz Ni-metalne pjene u kojima se generiraju vodik na katodi, odnosno kisik na anodi. Na gornjoj strani elektrolizatora postoje odvojeni otvori za svaki od plinova kroz koji oni zajedno s mješavinom elektrolita na kraju izlaze iz elektrolizatora.



Slika 5. Strujanje elektrolita i plinova unutar jednog članka.

3.3. Glavne komponente elektrolizatora i njihova funkcija

Pozicije na Slici 6:

1) Postolje,

2) Početna rubna ploča (Prednja) – temeljna ploča za pričvršćivanje s priključcima za elektrolit i plinove,

3) Brtva 2 – sprječava curenje elektrolita i plinova između glatkih površina,

4) Monopolarna ploča,

5) Membrana – odvaja plinove da ne bi došlo do njihovog ponovnog spajanja, a propušta ione,

6) Bipolarna ploča –služi ujedno kao katoda i kao anoda,

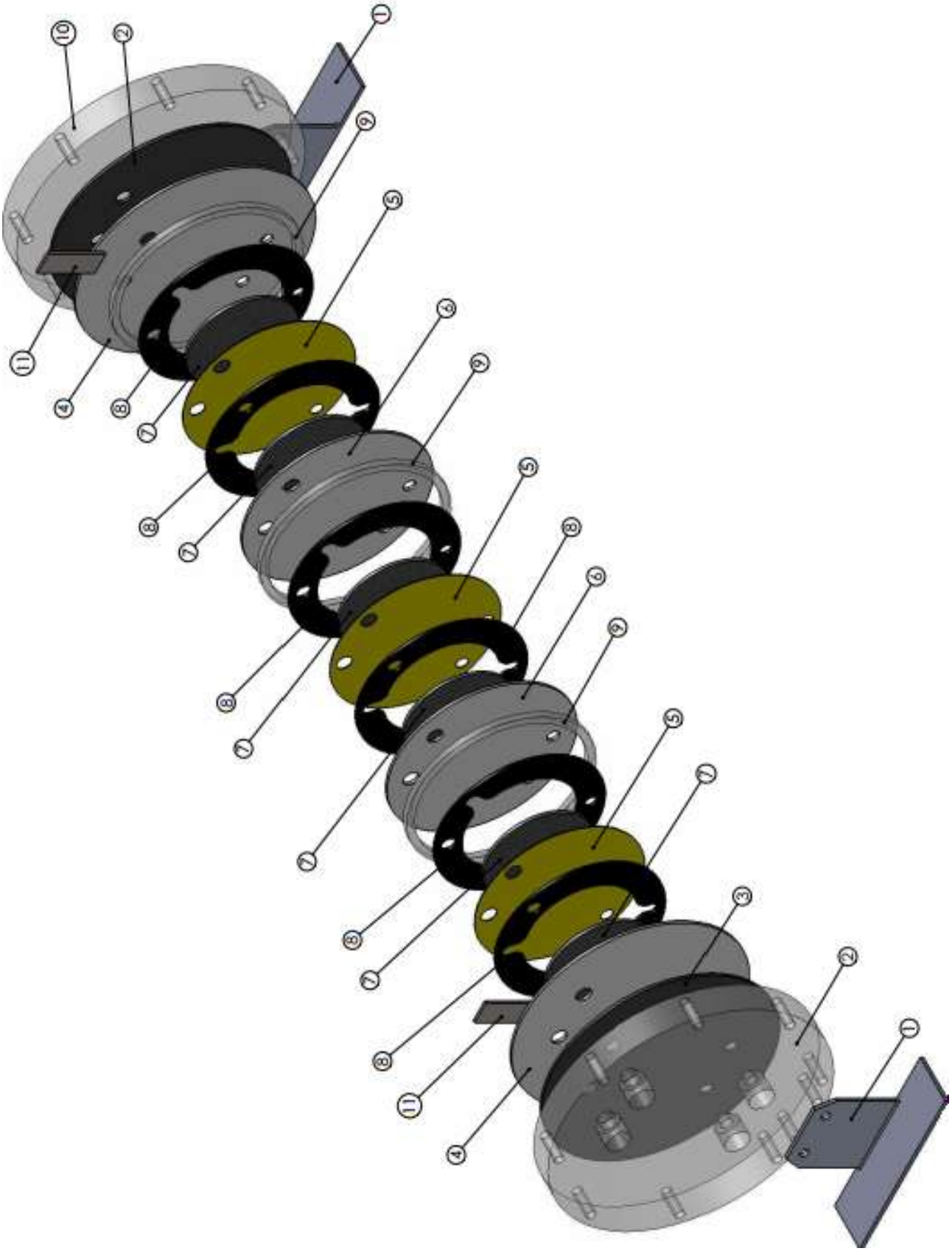
7) Ni-metalna pjena – elektroda, generira plinove,

8) Brtva 1 – sprječava curenje elektrolita i plinova,

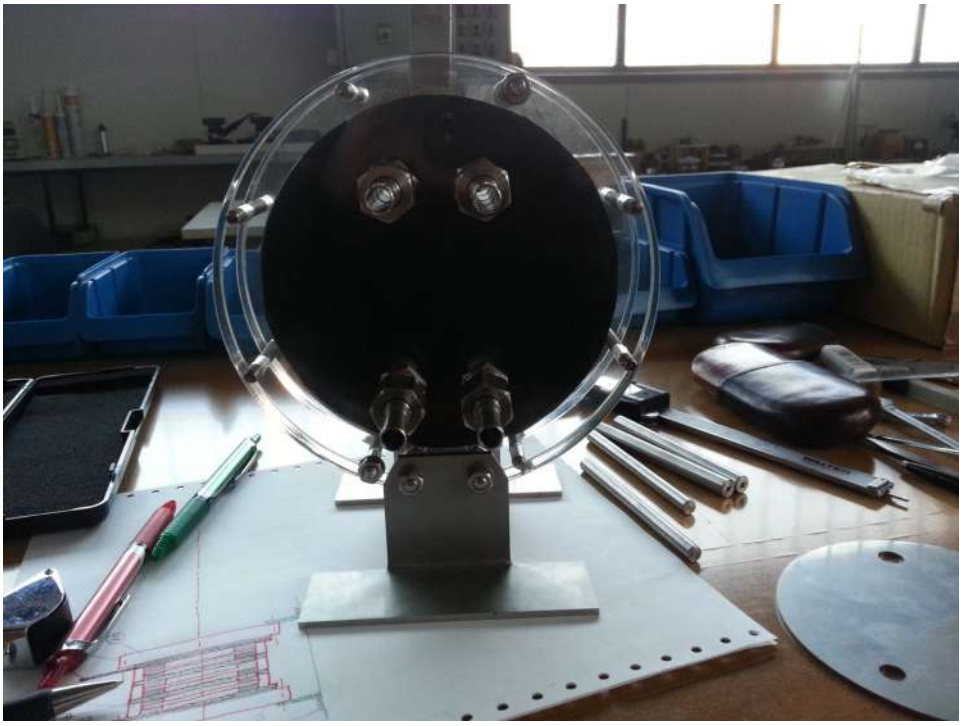
9) Prsten – služi za osiguravanje minimalnog razmaka između monopolarnih i bipolarnih ploča,

10) Krajnja rubna ploča – temeljna ploča za pričvršćivanje,

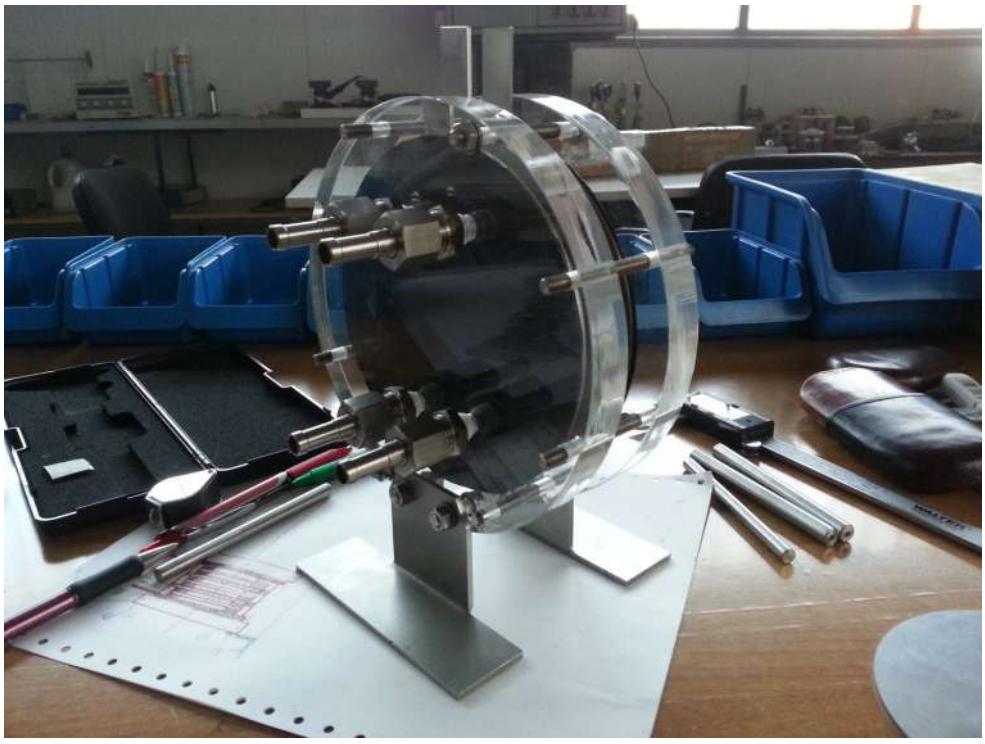
11) Pločice za dovod struje.



Slika 6. Prikazbipolarne izvedbe alkalnogelektrolizatora s označenim pozicijama.



Slika 7. Alkalni elektrolizator bipolarne izvedbe_1 - fotografija.



Slika 8. Alkalni ektrolizator bipolarne izvedbe_2 - fotografija.

3.3.1. Rubne ploče

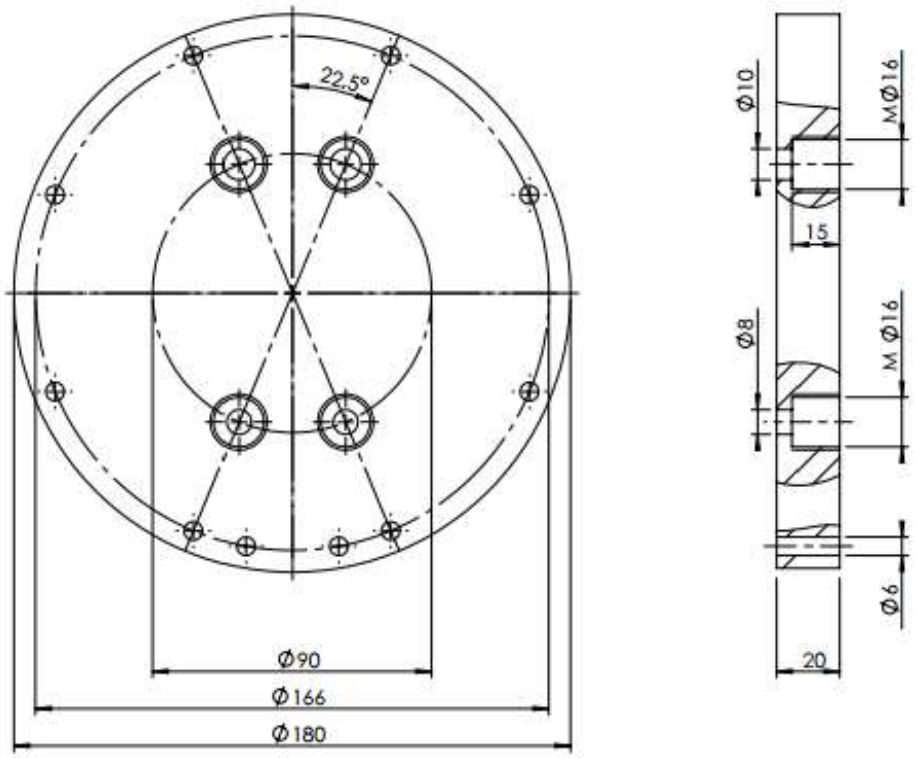
Rubne ploče izrađene su iz pleksiglasa. Pleksiglas je odabran zbog svoje otpornosti na koroziju i krutosti, ali i zbog nekoliko drugih razloga:

- otporan je na vremenske utjecaje i starenje,
- obrada je jednostavna; koriste se alati za obradu metala i drveta; moguće ga je relativno jednostavno bušiti, piliti, tokariti, glodati,
- pokazao se adekvatnim u širokom rasponu primjena[1].

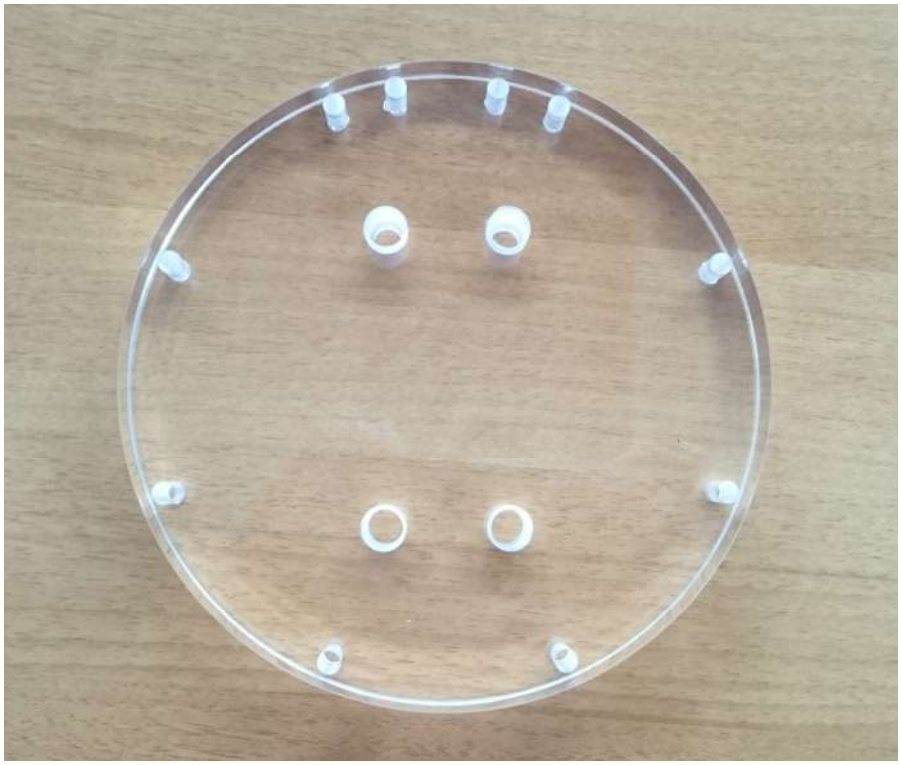
Glavna uloga rubnih ploča je pričvršćivanje elektrolitičkih članaka svežnja elektrolizatora. Također nosi i priključke za dovod elektrolita (prednja rubna ploča).

3.3.1.1. Prednja rubna ploča

Prednja rubna ploča sadrži priključke za dovod i odvod elektrolita i plinova. Elektrolit se dovodi kroz donje otvore promjera Ø8 mm, a odvodi se kroz gornjeotvore promjera Ø10 mm. U pravilu se kisik pomiješan s elektrolitom odvodi na jednoj strani, a vodik pomiješan s elektrolitom na drugoj strani. Oba otvora (i za dovod i za odvod elektrolita) s vanjske strane imaju navoj M16 u koji ulaze priključci za dovod, odnosno odvod elektrolita. Osim toga,na početnoj ploči nalazi se 10otvora promjera Ø6 mm, od kojih 8 služi za prolaz vijaka za pritezanje elektrolizatora, a 2 za prolaz vijaka za pričvršćivanje postolja. Širina rubne ploče je 20mm, a jedini i glavni razlog tome je osiguravanje potrebne čvrstoće tijekom pritezanja i dovoljne debljine za montažu priključaka.



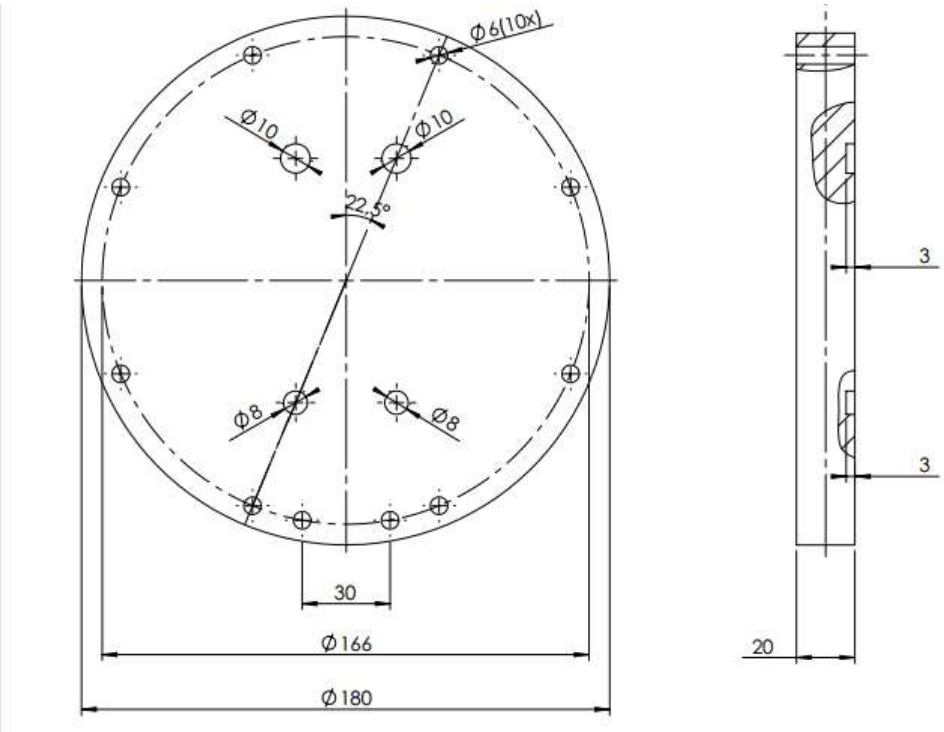
Slika 9. Prednja rubna ploča – nacrt.



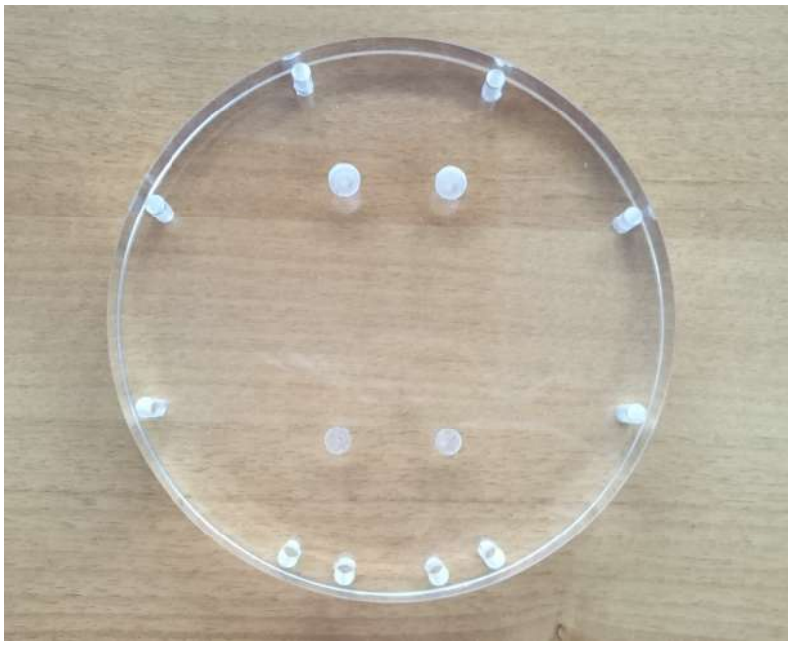
Slika 10. Prednja rubna ploča - fotografija.

3.3.1.2. Krajnja rubna ploča

Krajnja rubna ploča je po svojoj konstrukciji gotovo identična početnoj, osim što se na njoj ne nalaze prolazi za elektrolit. Na njihovom mjestu stoje 4 plitka udubljenja koja služe kao pomoć pri sastavljanju elektrolizatora.



Slika 11. Krajnja rubna ploča – nacrt.



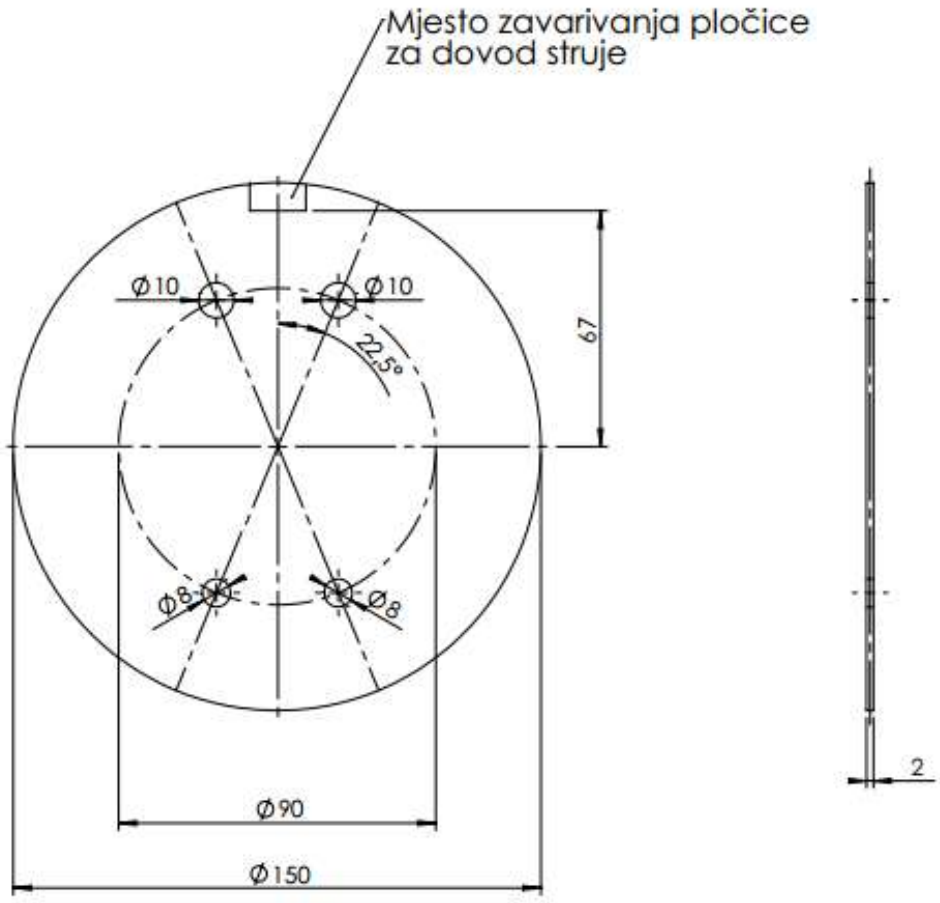
Slika 12. Krajnja rubna ploča - fotografija.

3.3.2. Monopolarne i bipolarne ploče

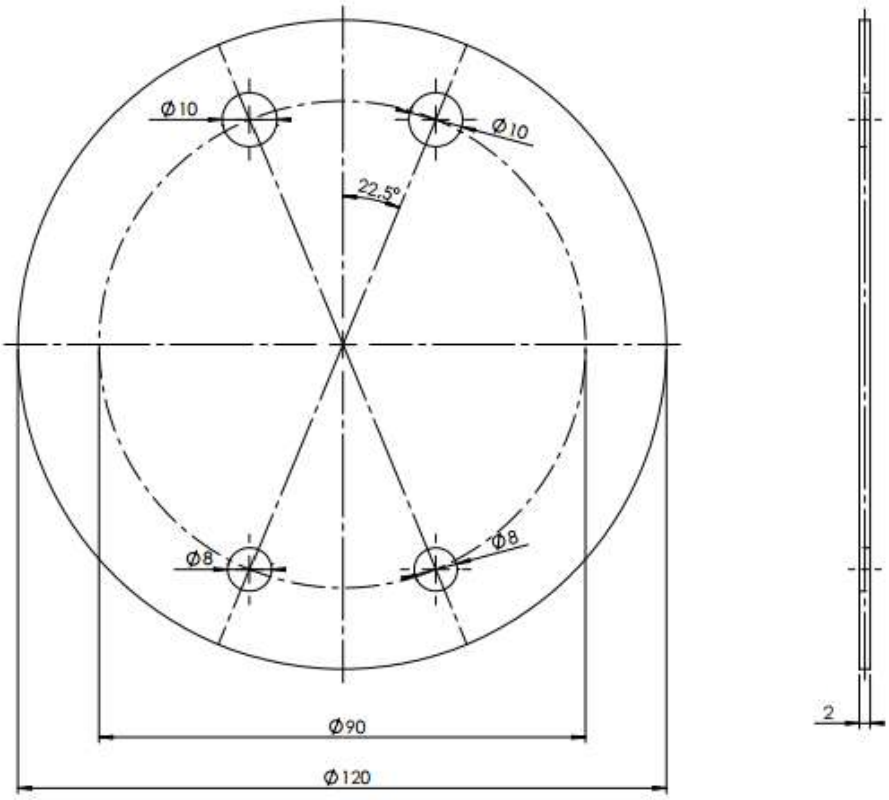
Na monopolarne ploče zavarene su pločice za dovod struje. Ovisno o polu na koji su priključene, one poprimaju značajke anode ili katode.

Bipolarne ploče, kojih kao i monopolarnih ima dva komada, postavljaju se između dva članka te s jedne strane predstavljaju katodu, a s druge strane anodu. Po konstrukciji su vrlo slične: obje ploče su izrađene iz čelika SS 316, iz kojeg su izrađeni svi metalni dijelovi elektrolizatora radi njegove otpornosti na koroziju, te se na njima nalaze prolazi za vođenje elektrolita isti kao i na vanjskoj rubnoj ploči. Jedina je razlika što monopolarne ploče imaju veći promjer:Ø150 mm (Ø120 mm kod bipolarnih) jer se na njih zavaruje pločica za dovod struje.

Bipolarne i monopolarne ploče, zajedno s pločicama za dovod struje izrađene su u firmi Laser Inženjering d.o.o. te su dobiveni kao donacija [7].



Slika 13. Monopolarna ploča – nacrt.



Slika 14. Bipolarna ploča – nacrt.



Slika 15. Zavareni sklop monopolarne ploče i pločice za dovod struje - fotografija.



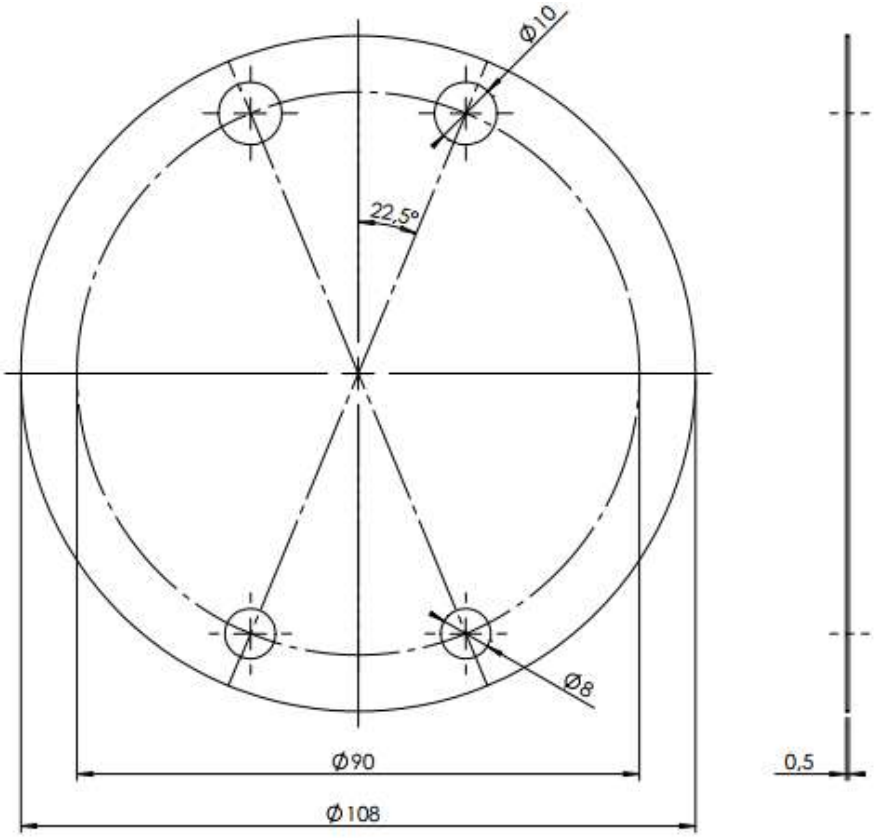
Slika 16. Bipolarne ploče - fotografija.

3.3.3. Membrana

Membrana mora biti načinjena iz materijala koji ne propušta plinove, a da je istovremeno propustan za ione. Za tu je funkciju odabran Zirfon®, kompozitni materijal simetrično obložen polisulfonskom mrežom i cirkonovim oksidom (ZnO). Osnovne značajke zirfona su:

- trajna vlažnost u vodi i elektrolitu,
- dimenzionalno stabilan – bez efekta skupljanja,
- vrlo robustan – ojačan tkaninom,
- stabilan u vrlo lužnatom radnom mediju,
- dostupan za različite temperature,
- nisko ionski otpor [2].

Membrana je promjera Ø108 mm, debljine 0,5 mm, te sadrži rupe za prolaz elektrolita. Elektrolizator sadrži tri membrane. Zirfon® je dobiven kao donacija, a rezao se u radionici tvrtke IMG-ventili [9].



Slika 17. Membrana – nacrt.

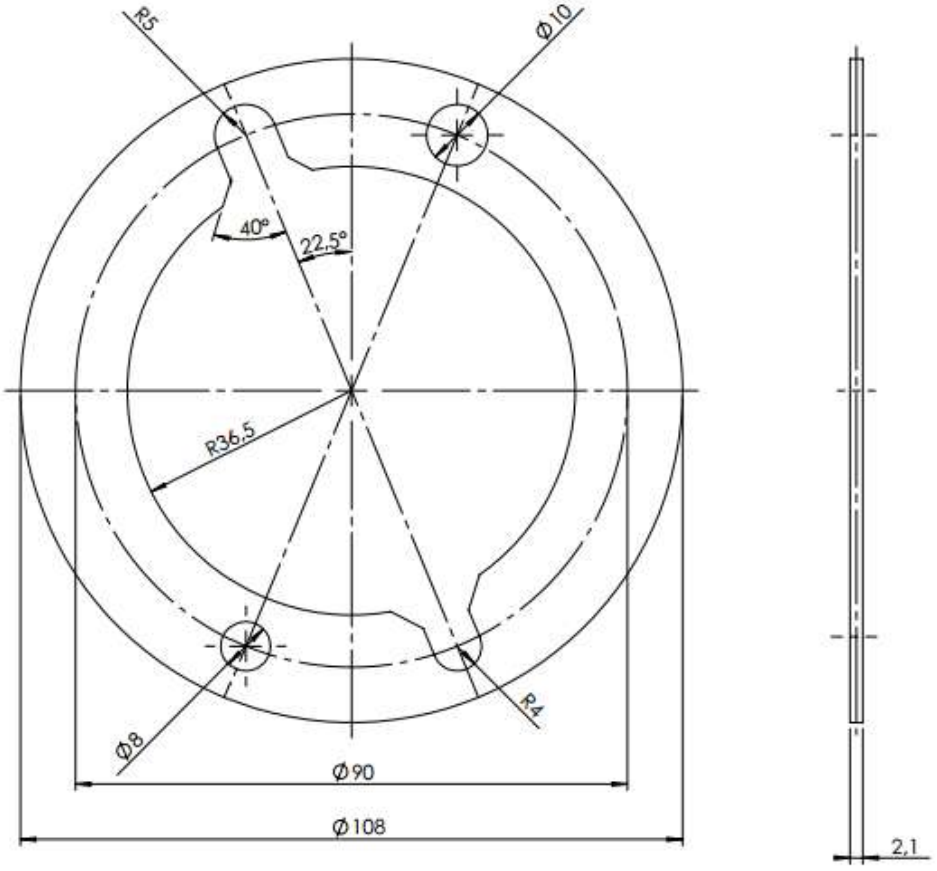


Slika 18. Membrana - fotografija.

3.3.4. Brtve

Svrha brtve je onemogućiti istjecanje elektrolita i plinova dok istovremeno usmjerava plinove, odnosno elektrolit kroz elektrolizator. Drugim riječima, o načinu na koji će se postaviti brtve ovisi da li će nam plin izlaziti na lijevom ili na desnom izlazu. Brtve se u elektrolizatoru nalaze uz bipolarne i monopolarne ploče, ima ih šest, a između dvije brtve postavljena je membrana jer se u njima nalazi Ni-metalna pijena unutar koje dolazi do odvajanja plinova.

U sklopu ovog rada korigirana je dimenzija brtvi radi boljeg uklapanja s ostalim komponentama. Vanjski i unutarnji promjer je ostao isti Ø108 mm, odnosno Ø73 mm, ali širina je smanjena na 2,1 mm.Brtve su izrađene iz gume.

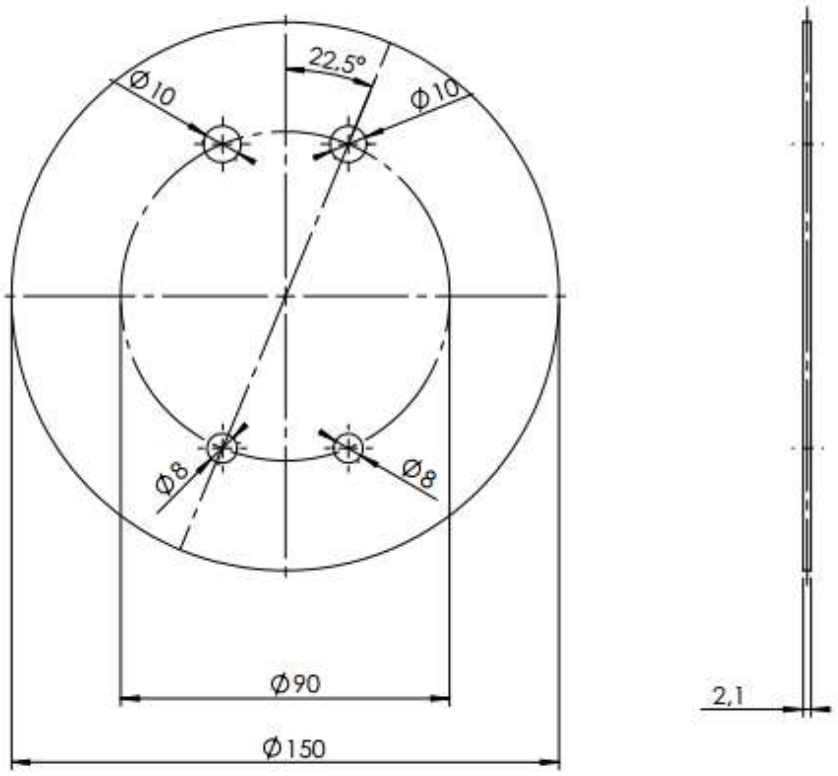


Slika 19. Brtva – nacrt.



Slika 20. Brtve 1 - fotografija.

Osim tih brtvi,između početne rubne ploče i monopolarne ploče, odnosno krajnje rubne ploče i monopolarne ploče nalaze se brtve koje osiguravaju da ne bi došlo do curenja elektrolita i plinova između dvije glatke površine.



Slika 21. Brtva uz rubnu ploču - nacrt.

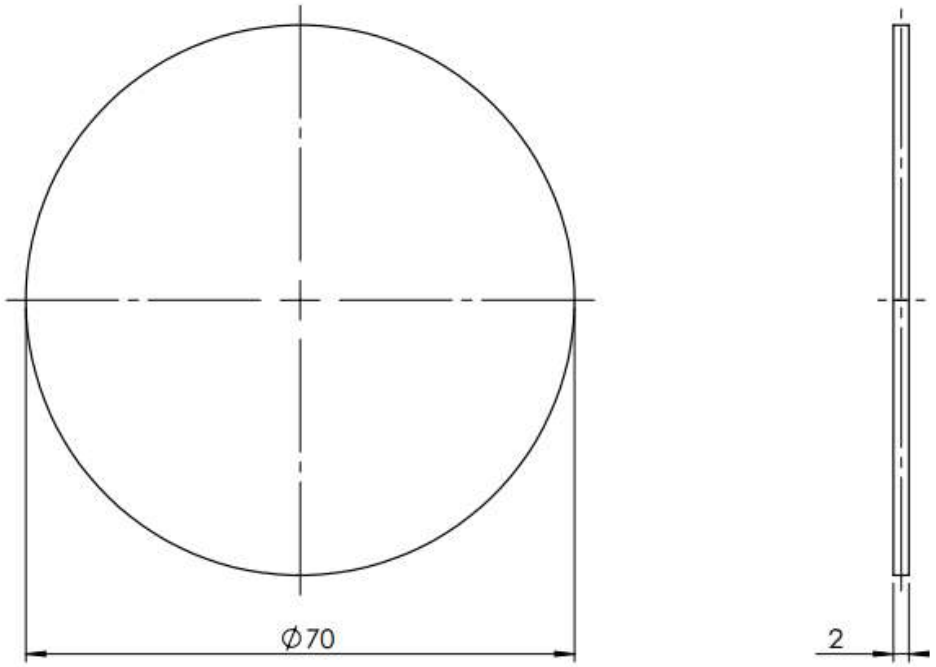


Slika 22. Brtve 2 - fotografija.

3.3.5. Elektroda (Ni – metalna pjena)

Elektrode imaju vrlo važnu ulogu u elektrolizatoru pri razlaganju molekule vode na plinove vodika i kisikate su zato vrlo bitne elektrokemijske značajke materijala od koji su elektrode izrađene. Ovisno o elektrokemijskim značajkama elektroda ovisi koliko će se vodika proizvesti, a o čemu u konačnici ovisi učinkovitost samog elektrolizatora. Materijal od koje je izrađena elektroda mora biti elektrokemijski vrlo aktivan i za što veću proizvodnju vodika potrebna je što veća aktivna površina elektroda [1].

Za elektrode je odabrana Ni – metalna pjena. Ona svojom poroznošću omogućava trodimenzionalno (3D) kruženje elektrolita na elektrodama. To znači da se odvajanje proizvedenih plinova vodika, odnosno kisika odvija po cijeloj njegovoj površini i u unutrašnjosti elektrode. Time se povećava aktivna površinakoja je u konačnici puno veća od uobičajeno korištenih elektroda, kao npr. pločica od nehrđajučeg čelika ili nikla (cca 1500x) [2].Elektrode su široke 2 mm, promjera Ø70mm. Elektrode su kao i membrana ručno rezane, a u elektrolizatoru ih ima šest.



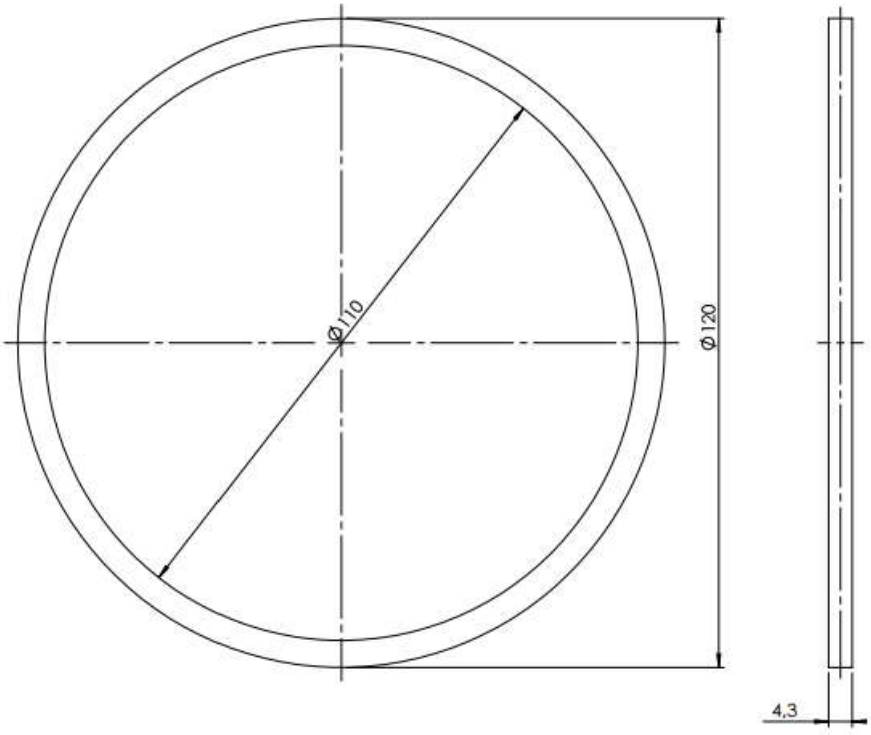
Slika 23. Elektroda – nacrt.



Slika 24. Elektrode - fotografija.

3.3.6. Prsten

Prsteni su dijelovi elektrolizatora koji ne sudjeluju u proizvodnji vodika. Njihova je funkcija osiguravanje konstrukcijske stabilnosti elektrolizatora. Postavljaju se između bipolarnih, odnosno monopolaranih ploča kako bi osigurali potreban razmak između njih jer bi u suprotnom moglo doći do prezatezanja vijaka, odnosno cijele konstrukcije elektrolizatora što bi za posljedicu imalo preveliko tlačenje i zatvaranje pora elektroda. Dakle, prsteni trebaju imati dobru tlačnu čvrstoću, a istovremeno trebaju biti izolatori kako na njima ne bi došlo do neželjenih reakcija, odnosno mosta za direktan prolaz struje. Prvotno je za materijal prstena bio odabran čelik presvučen slojem keramike. Međutim, ne može se sa sigurnošću reći da li će prevlačenje keramikom osigurati izoliranost prstena bez da se na njima naprave ispitivanja. Iz tog razloga, kao materijal prstena odabran je pleksiglas koji je izolator, a njegova tlačna čvrstoća od 103 MPa [4] više je nego dovoljna za potrebe ovdje opisanog elektrolizatora.Također su promijenjene dimenzije prstena kako bi se uskladio s ostatkom elektrolizatora te osigurala dodatna čvrstoća. Vanjski promjer mu je Ø120 mm, unutarnji Ø110 mm, a širina 4,3 mm. U elektrolizatoru se nalaze 3 prstena.



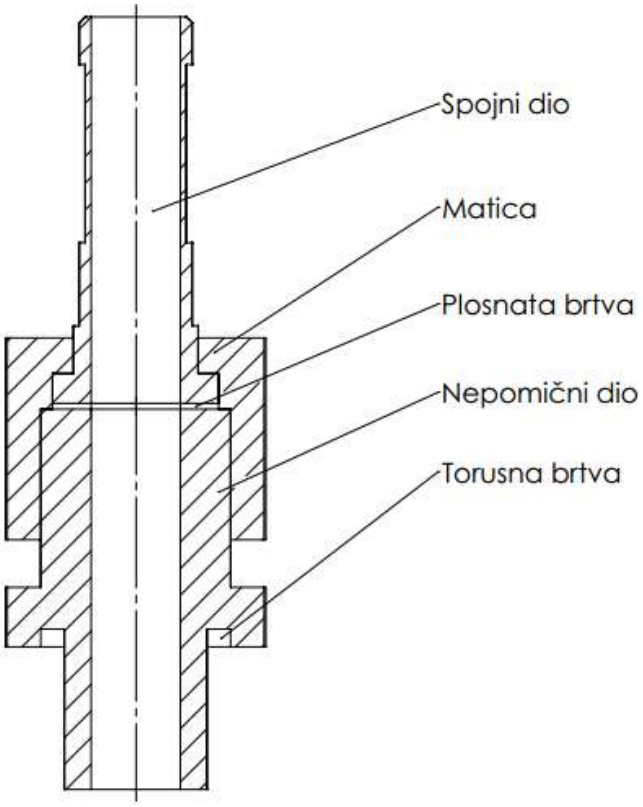
Slika 25. Prsten – nacrt.



Slika 26. Prsteni - fotografija.

3.3.7. Priključci za dovod i odvod elektrolita

Zadaća priključaka za elektrolit je povezivanje otvora na prednjoj rubnoj ploči s cijevima za dovod i odvod elektrolita, odnosno proizvedenih plinova vodika i kisika. Oni moraju osiguravati brtvljenje te ne smiju reagirati s elektrolitom.Materijal odabran za priključke je čelik SS316 zbog svoje otpornosti na lužinu, a njihova konstrukcija zamišljena je i rađena u sklopu ovog rada. Slika 27 prikazuje sklopni crtež priključaka. Detaljni crteži njegovih dijelova nalaze se u tehničkoj dokumentaciji.



Slika 27. Priključak za dovod i odvod elektrolita - sklopni crtež.



Slika 28. Priključci za dovod i odvod elektrolita – fotografija.

3.3.8. Cijevi

Cijevima elektrolit putuje kroz sustav za proizvodnju vodika. One trebaju biti što čvršće i otpornije radi izravnog dodira s elektrolitom, a istovremeno što elastičnije da se mogu lako instalirati u sustav za proizvodnju vodika. Cijevi su odabrane kao prozirne čvrste cijevi da bi se moglo vidjeti odvijanje reakcije, odnosno prijenos elektrolita i proizvedenih plinova vodika i kisika unutar njih.

Cijevi su proizvedene u Festo d.o.o. te su dobivene kao donacija [6].

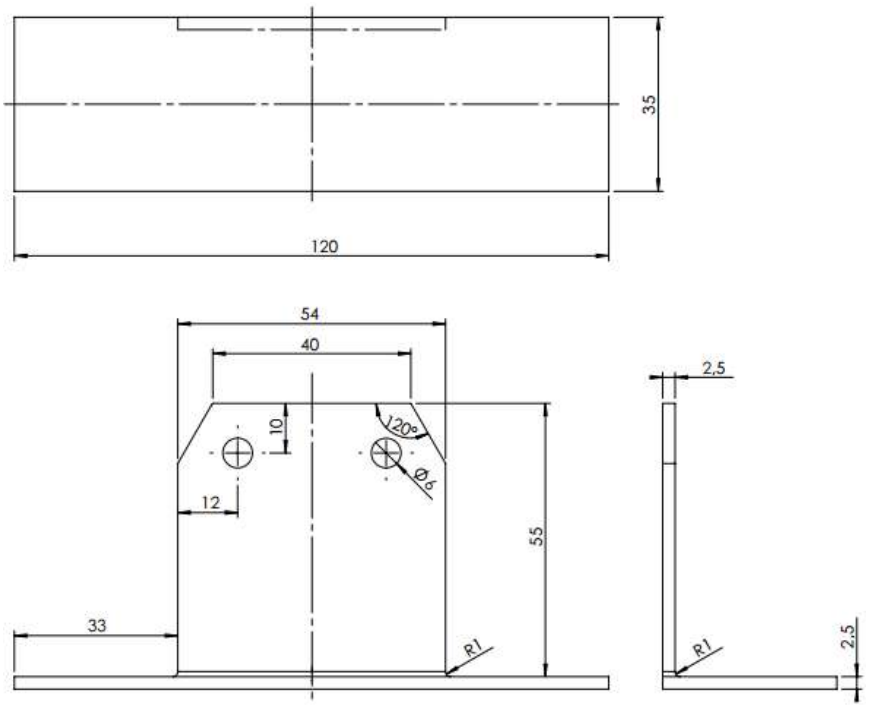
Tip cijevi je PUN-H 12x2. Načinjene od poliuretana, otporne na hidrolizu, vanjskog promjera 12 mm, a debljine stjenke 2 mm [8].



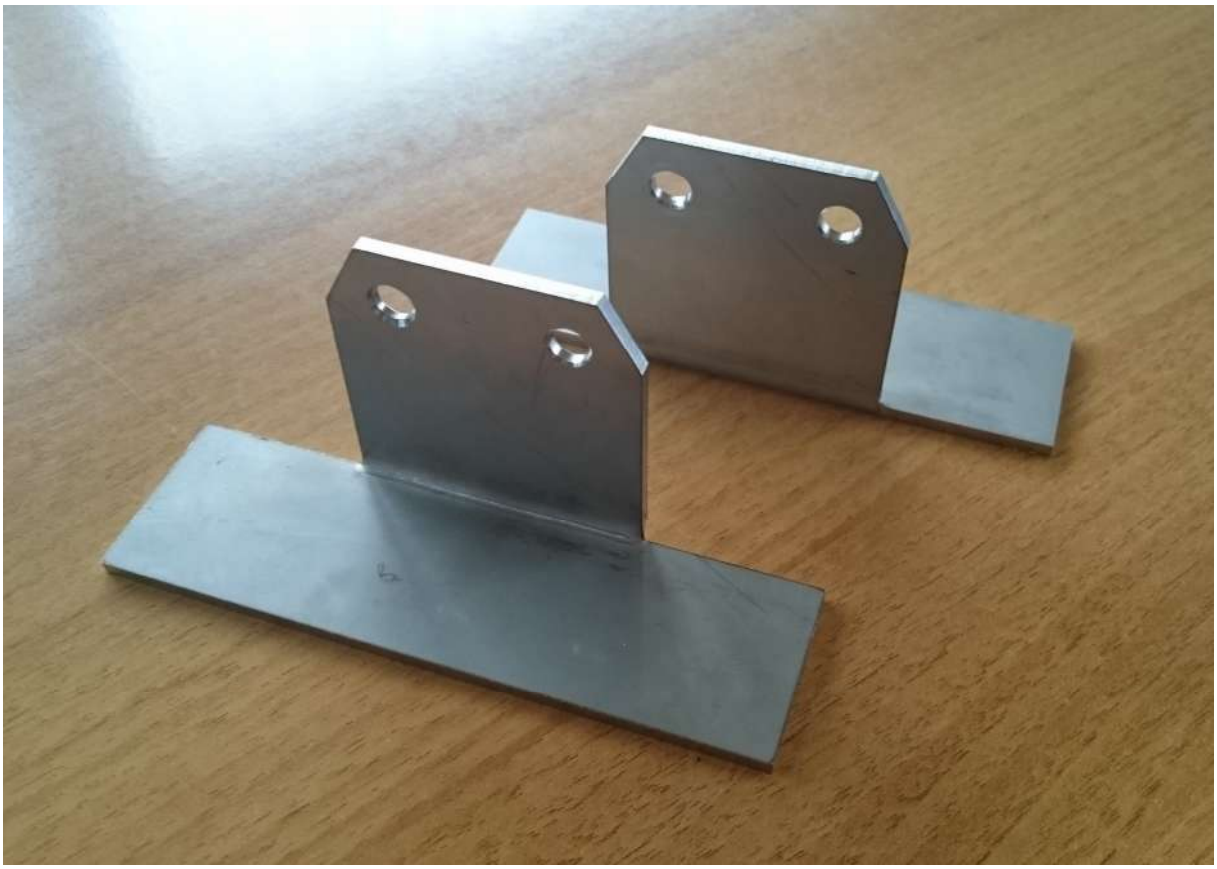
Slika 29. Cijevi - fotografija.

3.3.9. Postolje

Kako su svi dijelovi elektrolizatora izvedeni kao kružni, potrebno je osigurati stabilnost elektrolizatora. To je upravo zadaća postolja. Kao i svi metalni dijelovi, postolje je također izrađeno iz SS 316 te je u potpunosti izrađeno u firmi Laser Inženjering d.o.o.



Slika 30. Postolje – nacrt.



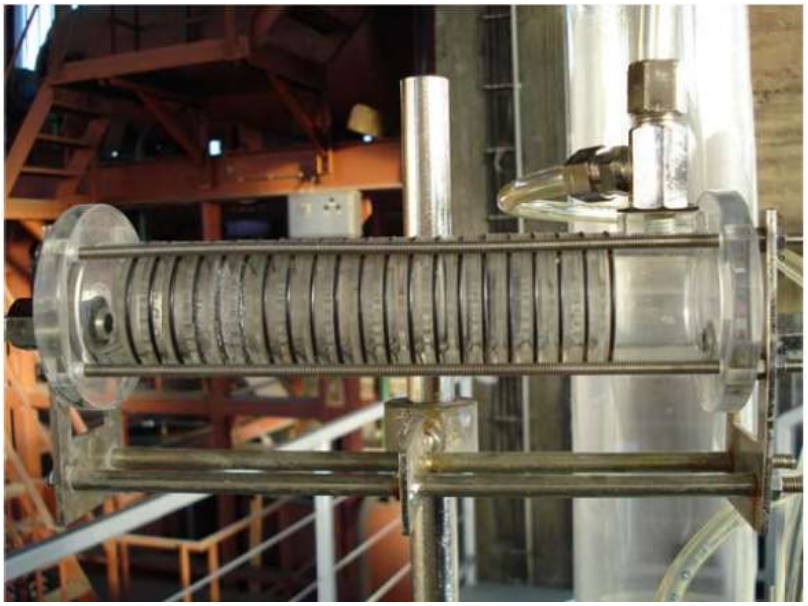
Slika 31. Postolje - fotografija.

4. SPAJANJE U SUSTAV ZA PROIZVODNJU VODIKA [2]

Izrađeni elektrolizator spaja se na sustav za proizvodnju vodika koji već postoji u Laboratoriju za energetska postrojenja. On se sastoji od separatora, spremnika elektrolita, spremnika za pohranu vodika i kisika, pumpe, hvatača nečistoća i elektrolita te izvora električne energije.

4.1. Separator [2]

Separatori služe za razdvajane proizvedenih mjehurića kisika, odnosno vodika od elektrolita. Unutar njih postavljena je 21 pregrada visine $\frac{3}{4}$ promjera separatora kako bi se izdvajanje proizvedenih mjehurića plinova odvijalo po cijeloj površini separatora. Osnovna značajka separatora je omogućiti odvajanje, odnosno osigurati vrijeme potrebno za odvajanje proizvedenih mjehurića plinova na način da se smanji brzina kapljevite faze te omogući suprotno kruženje faza. U postojećem sustavu nalaze se 2 separatora, jedan za odvajanje kisika i jedan za odvajanje vodika [2].



Slika 32. Separator [2].

4.2. Spremnici za pohranu elektrolita [2]

Spremnici za pohranu elektrolita, osim što sadrže elektrolit, koriste se kako bi poboljšali proces odvajanja plinovite od kapljevite faze. U postojećem sustavu ugrađena su 2 spremnika elektrolita: jedan na vodikovoj, a jedan na kisikovoj strani [2].



Slika 33. Spremnik elektrolita [2].

4.3. Spremnici za pohranu vodika i kisika [2]

Spremnici za pohranu vodika i kisika konstruirani su u dva dijela: gornji spremnik (vanjskog promjera 134 mm i unutarnje promjera 128 mm) i donji spremnik (vanjskog promjera 185 mm i unutarnjeg promjera 179 mm).

Spremanje vodika i kisika odvija se na način da plin pod tlakom ulazi u donji spremnik kroz cjevčicu smještenu unutar spremnika i potiskuje vodu koja izlazi van iz donjeg i ulazi u gornji spremnik kroz drugu cjevčicu. Pri vrhu donjeg spremnika počinju se nakupljati molekule proizvedenih plinova [2].



Slika 34. Spremnik za pohranu nastalih plinova [2].

4.4. Pumpa [2]

U sustavu se nalaze i dvije centrifugalne pumpe koje služe za ispitivanje utjecaja povećanja brzine kruženja elektrolita kroz sustav na proizvodnju vodika [2].



Slika 35. Centrifugalna pumpa [2].

Kod vanjskih mjerenja energija potrebna za rad pumpi dobiva se preko fotonaponskih (PV) modula snage 50 W [2].

4.5. Hvatač nečistoća [2]

Čistoća elektrolita vrlo je važna značajka tijekom rada elektrolizatora. Da bi se konstantno tijekom rada sustava elektrolit održavao čistim te tako osiguralo da ima jednake značajke od početka do kraja eksperimentalnog mjerenja ugrađeni su hvatači nečistoća i na vodikovoj i na kisikovoj strani. Da bi se povećala učinkovitost hvatača, u svaki od njih dodatno je stavljena Ni – metalna pjena [2].



Slika 36. Hvatač nečistoća [2].

4.6. Elekrolit [2]

Kao što je već rečeno, elektrolit koji se koristi kao radni medij je 25%-tna otopina KOH u vodi. Priprema se na način da se granule KOH otope u destiliranoj vodi čija masa ovisi o koncentraciji otopine koju želimo dobiti [2].



Slika 37. Priprema elektrolita: granule KOH lijevo i destilirana voda desno [2].

4.7. Izvor električne energije

4.7.1. Fotonaponski (PV) modul [2]

Da bi elektrolizator bio u potpunosti 'zelena tehnologija' nužno je da izvor struje bude neki od obnovljivih izvora energije. U ovom se slučaju radi o Sunčevoj energiji iz koje se direktnom pretvorbom preko PV modula dobiva električna energija. PV modul postavljenje na krovu Laboratorija za energetska postrojenja. Njegova ukupna snaga je 100 W [2].



Slika 38. Fotonaponski (PV) modul [2].

4.7.2. Laboratorijski izvor električne energije

U slučaju nedovoljnog osunčanja PV modul ne proizvodi dovoljno električne energije. U tom slučaju, a samo u svrhu ispitivanja, elektrolizator se spaja na DC/DC laboratorijski izvor električne energije.

U Laboratoriju za energetska postrojenja koristi se Heizenger-ov, izvor istosmjerne struje RK-84 -2556 koji dozvoljava prilagodbu napona po potrebi.



Slika 39. DC/DC laboratorijski izvor napajanja- Heinzinger.

5. Mjerenje

Glavna aktivnost koja se vrši u laboratorijima je mjerenje. Postoje teorijski proračuni rada konstruiranog elektrolizatora, ali realni sustavi često pokazuju različite značajke u odnosu nateorijski proračunatih. Iz tog razloga u sustav za proizvodnju vodika je spojen i podsustav za mjerenje i prikupljanje izmjerenih podataka. On obuhvaća mjerna mjesta, mjerne osjetnike, mjernu centralu i prijenosno računalo. To omogućava kvalitetno prikupljanje i pohranu podataka.

U idućim poglavljima navedeni su dijelovi sustava za mjerenju po redoslijedu pripreme za mjerenje.

5.1. Mjerna mjesta [2]

Prije samog početka mjerenja potrebno je provjeriti sva mjerna mjesta i jesu li dobro priključena. Ukupno je 19 mjernih mjesta što podrazumijeva mjerene veličine: temperatura, jakost globalnog Sunčevog zračenja, električna struja, napon, protok i tlak.

Mjerenje veličine su [2]:

1. Ulazna temperatura elektrolita u elektrolizator na vodikovoj strani,
2. Izlazna temperatura elektrolita iz elektrolizatora na vodikovoj strani,
3. Temperatura proizvedenog vodika u spremniku,
4. Ulazna temperatura elektrolita u elektrolizator na kisikovoj strani,
5. Izlazna temperatura elektrolita iz elektrolizatora na kisikovoj strani,
6. Temperatura proizvedenog kisika u spremniku,
7. Temperatura PV modula za napajanje elektrolizatora,
8. Temperatura okoline,
9. Napon na PV modulu za napajanje elektrolizatora,
10. Električna struja koju daje PV modul za napajanje elektrolizatora (= Električna struja na elektrolizatoru),
11. Jakost globalnog osunčanja,
12. Napon na PV modulu za napajanje pumpi (= Napon pumpe),
13. Električna struja na pumpi na vodikovoj strani,
14. Protok elektrolita na vodikovoj strani,

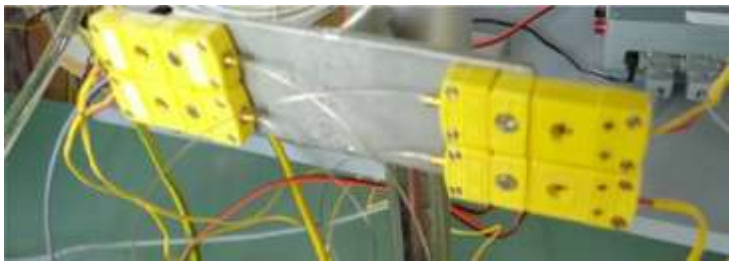
15. Tlak u spremniku proizvedenog vodika,
16. Električna struja na pumpi na kisikovoj strani,
17. Protok elektrolita na kisikovoj strani,
18. Tlak u spremniku proizvedenog kisika,
19. Temperature kućišta elektrolizatora.

5.2. Mjerni osjetnici

Slijedeći je korak priključivanje mjernih osjetnika u sustav za mjerenje. Mjerni osjetnici moraju biti otporni na radni medij, odnosno elektrolit (u ovom slučaju vrlo jaka lužina, 25% otopina KOH u vodi).

5.2.1. Mjerni osjetnik temperature (termopar) K – tip [2]

Ovaj tip osjetnika temperature (termopara) sastoji se od pozitivnog dijela (90% Ni i 10% Cr) i negativnog dijela (95% Ni, 2% Al, 2% Mn i 1% Si). Raspon temperatura za koji se koristi je od -32 °C do +1300 °C. Plašt osjetnika koji je u kontaktu s elektrolitom izrađen je od nehrđajučeg čelika AISI 316. U sustav je ugrađeno 8 osjetnika temperature [2].



Slika 40. Osjetnik temperature (termopar) K – tip [2].

5.2.2. Mjerni osjetnik diferencijalnog tlaka: PX26 – 001 DV [2]

Osnovne značajke ovog osjetnika su: raspon tlaka od 0 do 0,00689476 bar, raspon radnih temperatura od -40 °C do + 85 °C, točnost očitanja od ± 1% i vrijeme odziva od 1 ms. Membrana koja je u kontaktu s vodikom, odnosno kisikom izrađena je od silikona. U sustavu se nalaze 2 osjetnika tlaka [2].



Slika 41. Osjetnik diferencijalnog tlaka PX26 - 001 DV [2].

5.2.3. Mjerni osjetnik protoka: FT – 210 [2]

Ovaj osjetnik radi na principu da protok uzrokuje rotaciju lopatica rotora kutnom brzinom koja je direktno proporcionalna brzini elektrolita. Njegove značajke su: raspon protoka od 0,1 l/min do 2,5 l/m, raspon radnih temperatura je od - 20 °C do +100 °C, točnost očitanja od ± 3 % s potrebnim napajanjem u rasponu od 5 V do 24 V DC. Osjetnici tlaka i osjetnici protoka tahtjevaju svoja napajanja da bi mogli funkcionirati. Njihov naponski izlaz koji odgovara trenutnoj vrijednosti mjerene veličine temeljem baždarenih krivulja daje stvarnu vrijednost te veličine. U sustavu se nalaze 2 osjetnika protoka [2].



Slika 42. Mjerni osjetnik protoka: FT – 210 [2].

5.3. Računalom podržano prikupljanje i obrada izmjerenih podataka [2]

Slijedeće po redu slijedi paljenje mjerne centrale, a nakon nje i računala. Mjerna centrala HP 2852A služi za prikupljanje izmjerenih podataka koji se zatim direktno šalju u prijenosno računalo i spremaju u Microsoft Office Excel datoteke.

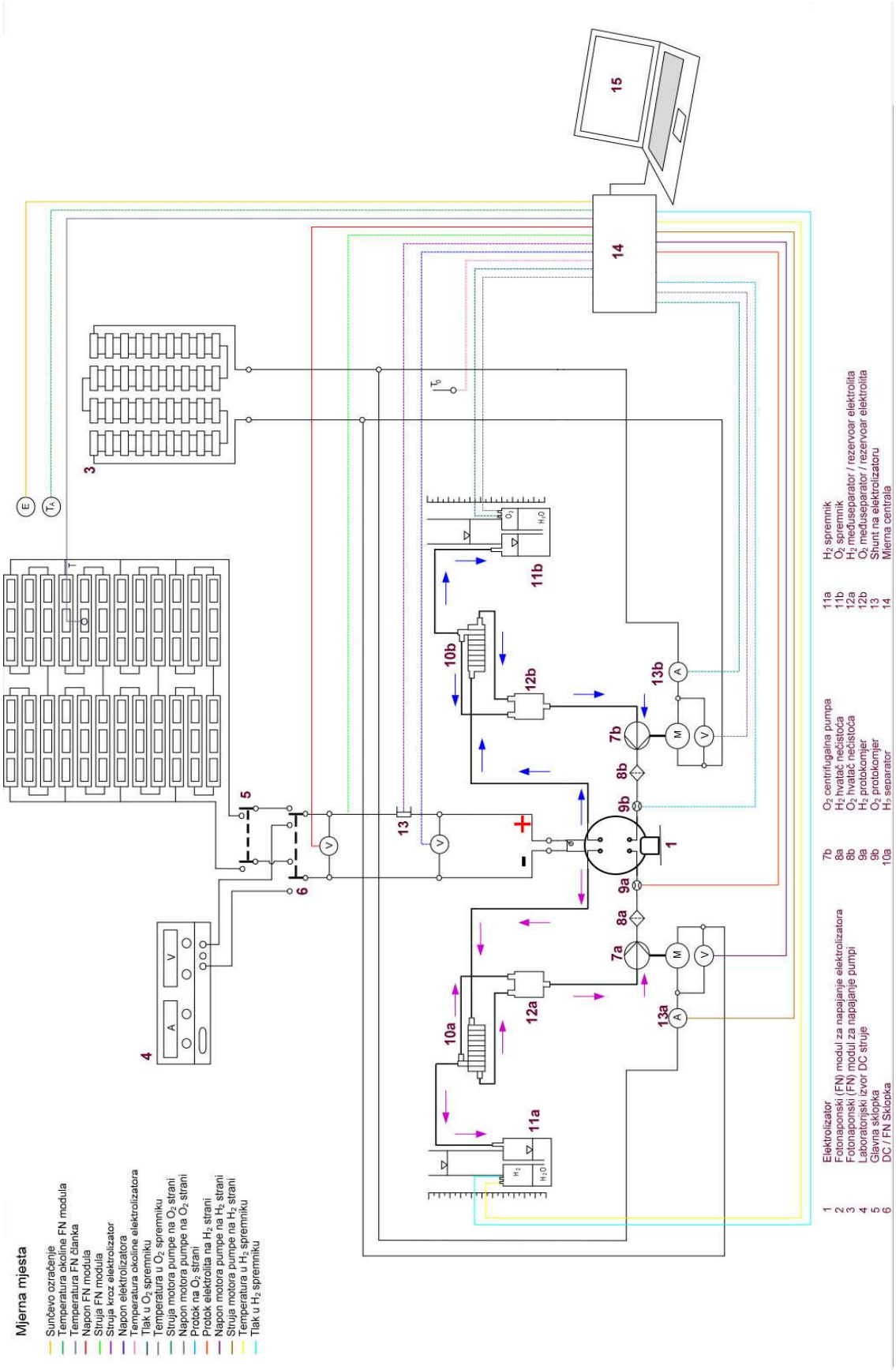


Slika 43. Računalom podržano prikupljanje i obrada izmjerenih podataka [2].

LabView kompatibilna aplikacija HP3852_20 channels namijenjena je prikupljanju podataka s 20 kanala mjerne centrale. Komunikacija između prijenosnog računala i mjerne centrale omogućena je preko USB/GPID sabirnice. Očitavanje se izvodi ciklički najvećom mogućom brzinom koja najvećim dijelom ovisi o vremenu izvođenju programske petlje LabView programa i o ukupnom broju kanala koji se očitavaju. Aplikacija omogućava odabir tipa mjerenja, aktivnih kanala, vrijeme trajanja snimanja i pohranjivanje [2].

5.4. Shema sustava za proizvodnju vodika [2]

Na Slici 44 prikazana je shema sustava za proizvodnju vodika s označenim podsustavom i mjernim mjestima. Kako je i opisano, na shemi su dva PV modula: jedan za napajanje elektrolizatora i jedan za napajanje dvije centrifugalne pumpe, te laboratorijski izvor električne energije.



Slika 44. Shema sustava za proizvodnju vodika s podsustavom za mjerenje [2].

6. ZAKLJUČAK

Cilj svakog inženjera je povećati učinkovitost nekog proizvoda, odnosno postrojenja, te na taj način pridonijeti njegovom unaprijeđenju. Kapacitet elektrolizatora između ostaloga povećava se i ugradnjom većeg broja članaka, odnosno izrade svežnja elektrolizatora.

U ovom završnom radu predstavljen je put od početka konstruiranja alkalnog elektrolizatora bipolarne izvedbe pa do njegovog priključivanja u sustav za proizvodnju vodika. Bilo je potrebno usvojiti osnove elektrolize kako bi se uloga svakog dijela elektrolizatora bolje razumio. Tijekom konstrukcije puno pažnje treba posvetiti odabiru materijala. Naime, svi materijali u elektrolizatoru moraju biti otporni na koroziju prouzročenu dodirom s jakom lužinom. Također treba biti vrlo oprezan pri izradi dijelova jer elektrolizator ne dozvoljava odstupanje od zadanih mjera.

U četvrtom poglavlju predstavljeni su ostali dijelovi sustava za elektrolizu. Oni su ovdje samo osnovno predstavljeni jer taj sustav već postoji u Laboratoriju za energetska postrojenja te se u sklopu ovog rada nije mijenjao, ali njihov je značaj u proizvodnji vodika jednako važan kao i sam elektrolizator. Da bi sustav za proizvodnju vodika radio, svaki dio sutava mora biti ispravan i točno spojen.Posebnu pažnju moramo posvetiti izvoru električne energije. Kako se vodik proizvodi da bi se smanjile emisije CO_2, bitno je da i električna energija dolazi od obnovljivih izvora energije. U ovom slučaju to je korištenje Sunčeve energije direktnom pretvorbom u električnu energiju preko PV modula.

Sustav za mjerenje u Laboratoriju za energetska postrojenja je bitan jer se pomoću njega određuju značajke konstruiranog elektrolizatora. Što se tiče industrijske proizvodnje vodika, taj je sustav vrlo bitan jer zajedno s regulacijskim elementima regulira rad i sigurnost sustava.

Onaj dio sustava mjerenja koji ovdje nije opisivan jer ne postoji u Laboratoriju, a bitan je za daljnji nastavak ovoga rada (razvoj višečlankastog alkalnog elektrolizatora – svežnja elektrolizatora) jest mjerenje udjela kisika u proizvedenom vodiku. Taj je udio malen (reda veličine 1 promil), ali je bitna značajka kvalitete elektrolizatora, dakle u njegovoj konkurentnosti na tržištu, a što je glavni cilj razvoja proizvoda kao takvoga. Zbog toga u opisani mjerni sustav treba uključiti i odgovarajući mjerni uređaj za mjerenje koncentracije kisika u proizvedenom vodiku. Budući i vodik može 'probijati' na kisikovu stranu elektrolizatora, nužno je raspolagati i mogućnošću mjerenja sadržaja vodika u proizvedenom kisiku.

7. LITERATURA

[1] Vedrina I.: Alkalni bipolarni elektrolizator, Zagreb, FSB, 2014. Diplomski rad.

[2] Đukić A.: Proizvodnja vodika elektrolizom vode pomoću sunčeve energije i fotonaponskoga modula, Zagreb, FSB, 2013. Doktorski rad.

[3] International Energy Agency: Technology Roadmap, Hydrogen and Fuel Cells

[4] http://climate.nasa.gov/climate_resources/24/

[5] http://www.prozirni-namjestaj.hr/site/assets/files/1361/211-1-plexiglas-gs-xt-en_1.pdf

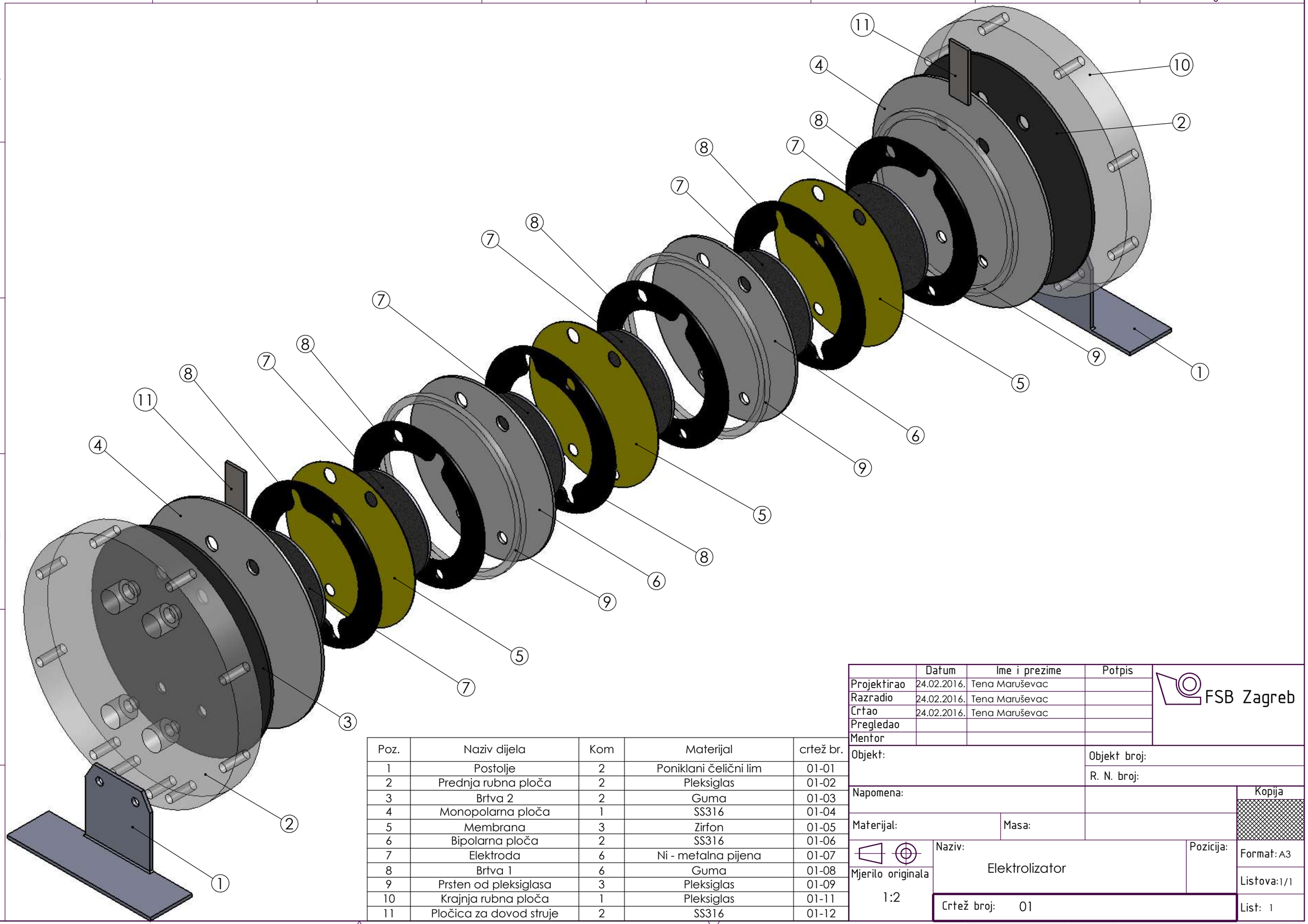
[6] https://www.festo.com/cms/hr_hr/index.htm

[7] http://www.laser-ing.com/hr/

[8] https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_ENGB/PDF/EN/OD-TUBING_EN.PDF

[9] http://www.img-ventili.hr/

Tehnička dokumentacija



Poz.	Naziv dijela	Kom	Materijal	crtež br.
1	Postolje	2	Poniklani čelični lim	01-01
2	Prednja rubna ploča	2	Pleksiglas	01-02
3	Brtva 2	2	Guma	01-03
4	Monopolarna ploča	1	SS316	01-04
5	Membrana	3	Zirfon	01-05
6	Bipolarna ploča	2	SS316	01-06
7	Elektroda	6	Ni - metalna pijena	01-07
8	Brtva 1	6	Guma	01-08
9	Prsten od pleksiglasa	3	Pleksiglas	01-09
10	Krajnja rubna ploča	1	Pleksiglas	01-11
11	Pločica za dovod struje	2	SS316	01-12

	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Razradio	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Crtao	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Pregledao			
Mentor			

FSB Zagreb

Objekt:

Objekt broj:

R. N. broj:

Napomena:

Kopija

Materijal:

Masa:

Mjerilo originala

1:2

Naziv:

Elektrolizator

Pozicija:

Format: A3

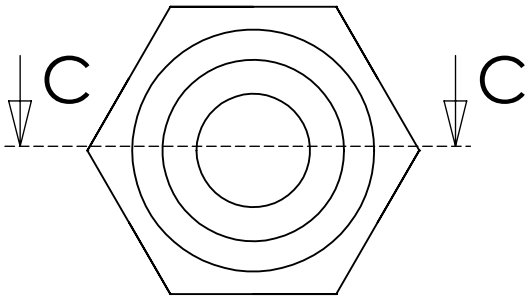
Listova: 1/1

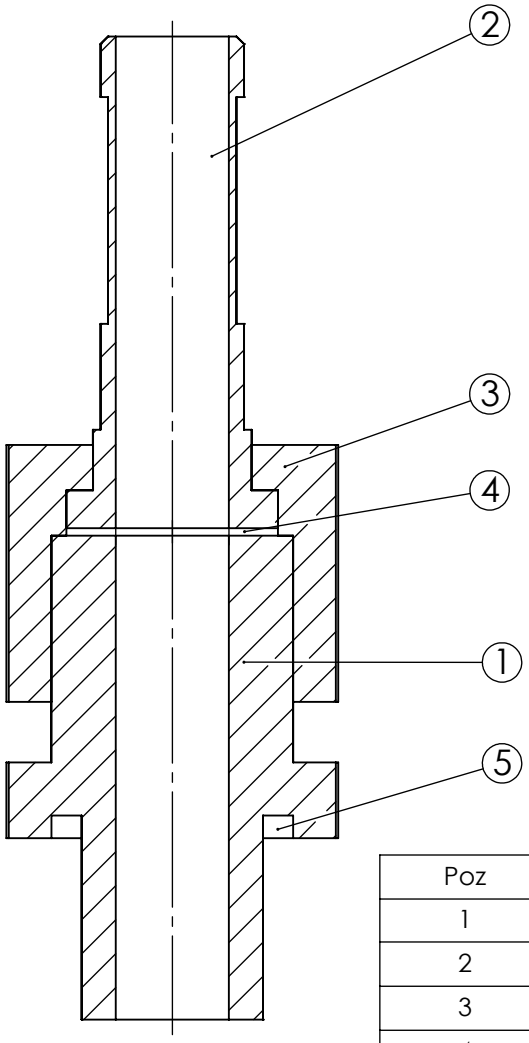
Crtež broj: 01

List: 1

Design by CADLab

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100





Poz	Naziv dijela	Kom	Materijal	Crtež broj
1	Priključak - nepomični dio	1	SS316	12-1
2	Priključak - spojni doo	1	SS316	12-2
3	Priključak - matica	1	SS316	12-3
4	Brtva gumena plosnate	1	SS316	12-4
5	Brtva gumena torusna	1	SS316	12-5

	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Razradio	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Crtao	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Pregledao			

FSB Zagreb

Objekt:

Objekt broj:

R. N. broj:

Napomena: 4x

Kopija

Materijal:

Masa:

Mjerilo originala

2:1

Naziv: Priključak

Pozicija:

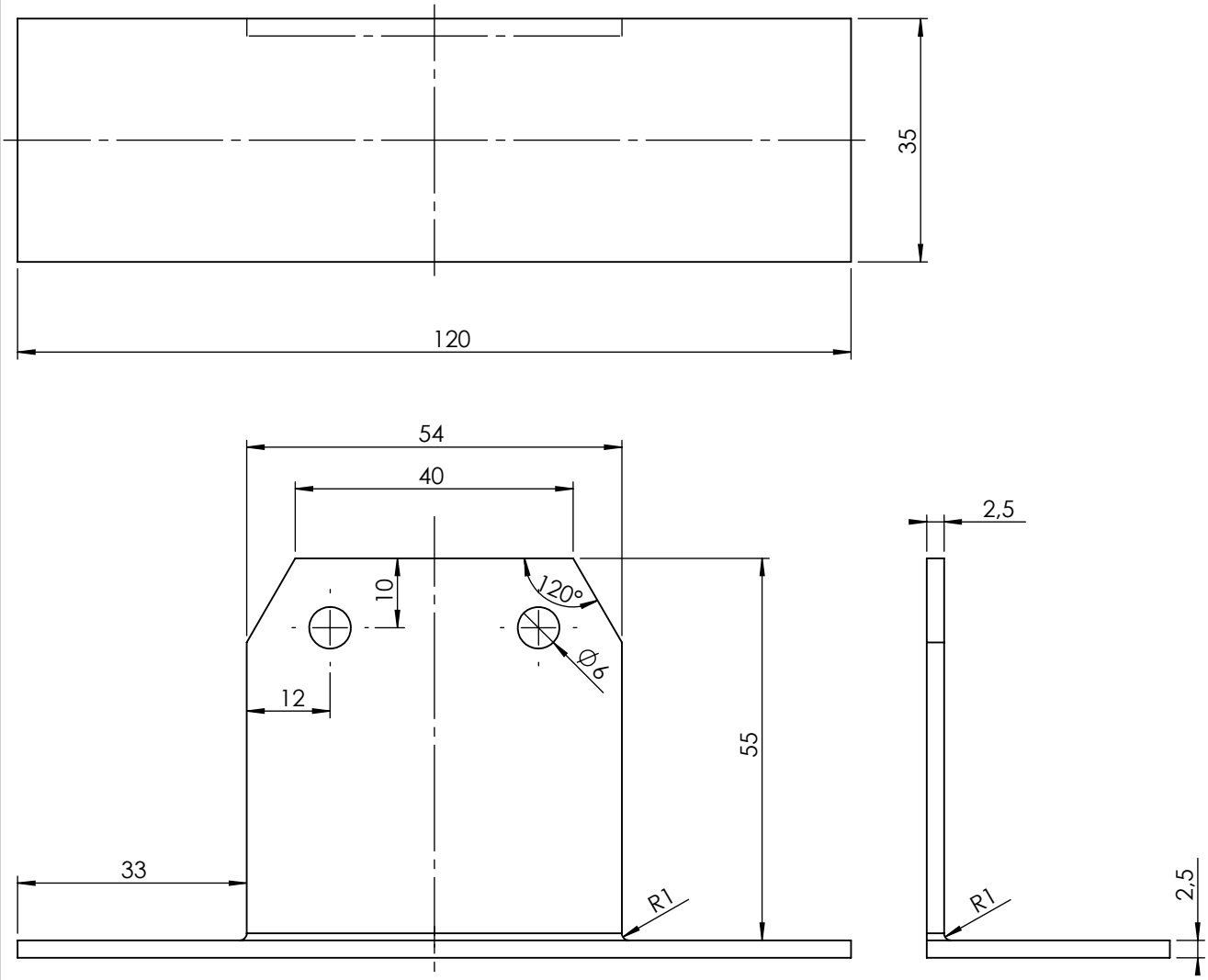
Format: A4

Listova: 1/1

Crtež broj: 12

List: 1

Design by CADLab

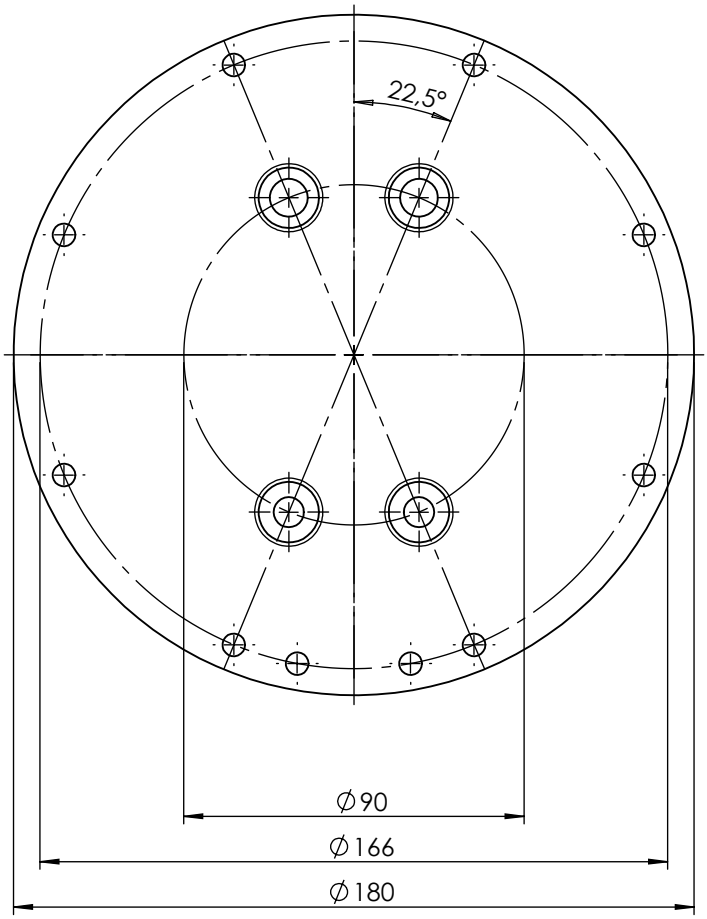


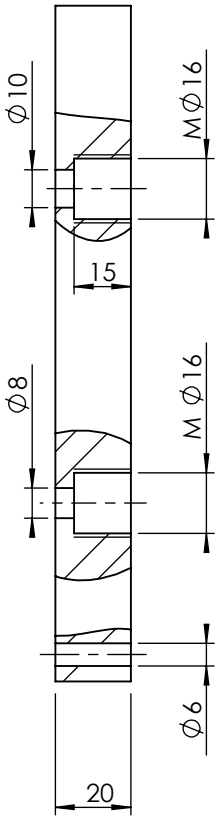
	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Razradio	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Crtao	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Pregledao			

FSB Zagreb

Objekt:	Objekt broj:
	R. N. broj:
Napomena:	Kopija
Materijal: SS316	Masa:
Mjerilo originala 1:1	Naziv: Postolje
	Pozicija: 1
	Format: A4
	Listova: 1/1
Crtež broj: 01-01	List: 1

Design by CADLab





	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Razradio	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Crtao	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Pregledao			

FSB Zagreb

Objekt:

Objekt broj:

R. N. broj:

Napomena:

Kopija

Materijal: Pleksiglas

Masa:

Mjerilo originala 1:2

Naziv: Prednja rubna ploča

Pozicija: 2

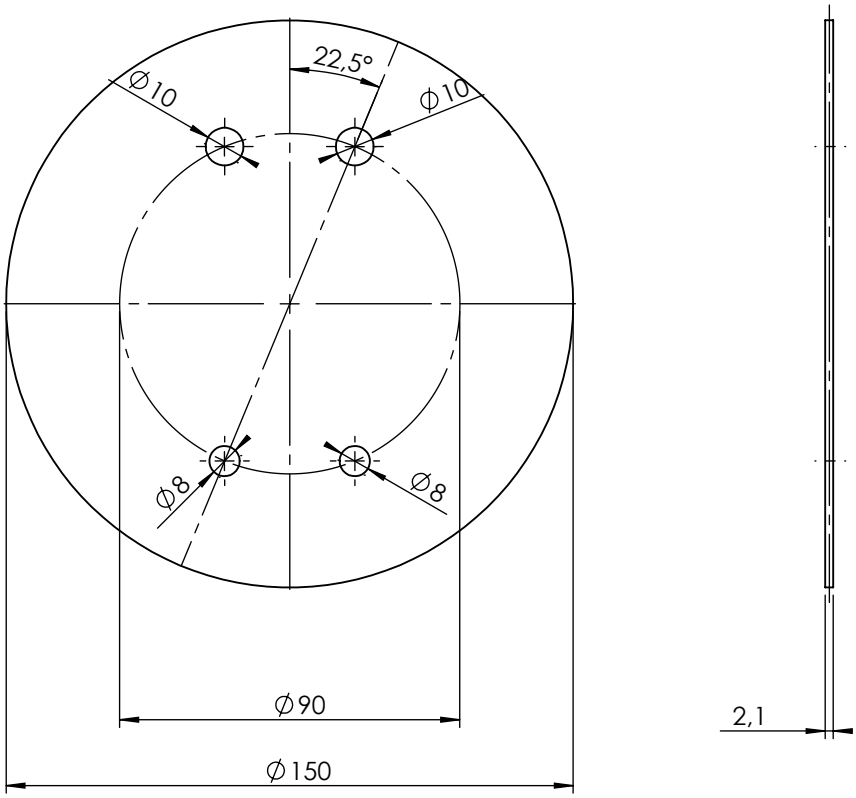
Format: A4

Listova: 1/1

Crtež broj: 01 - 02

List: 1

Design by CADLab

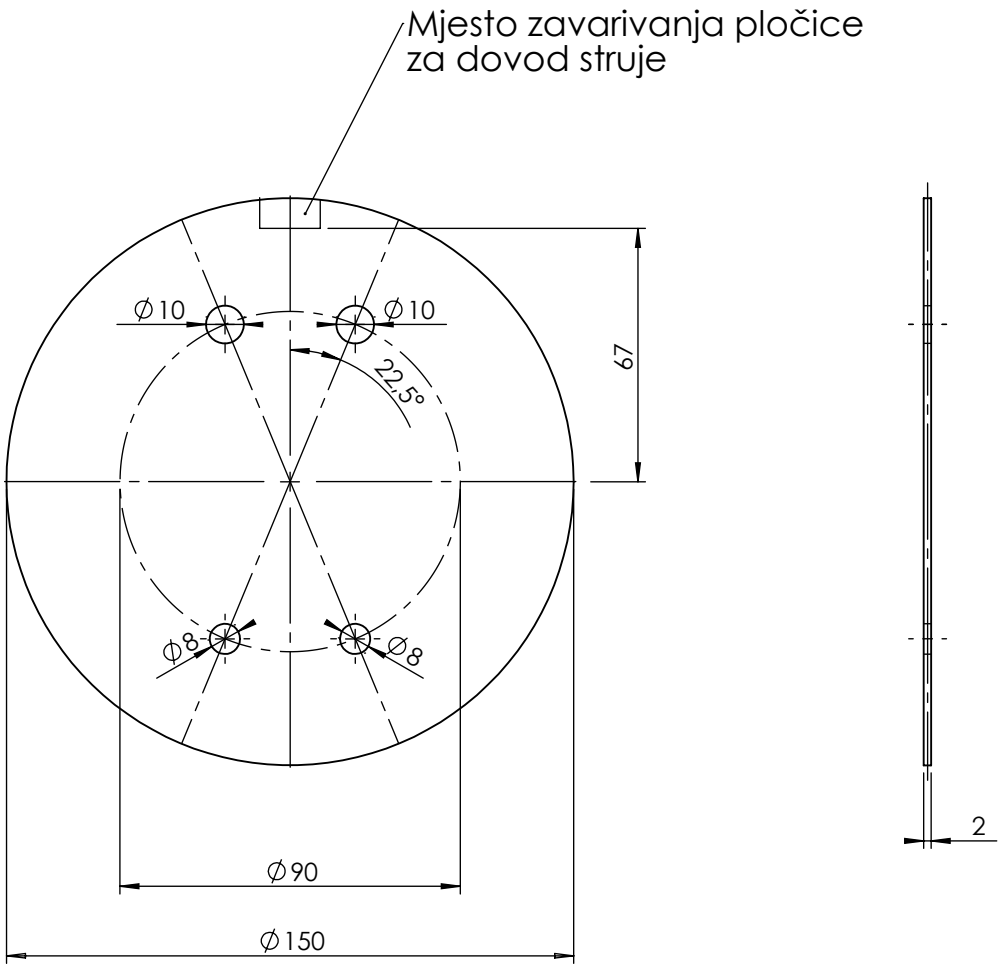


	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Razradio	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Crtao	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Pregledao			

FSB Zagreb

Objekt:	Objekt broj:
	R. N. broj:
Napomena:	Kopija
Materijal: Guma	Masa:
Mjerilo originala 1:2	Naziv: Brtva 2
Pozicija: 3	Format: A4
Listova: 1/1	List: 2
Crtež broj: 01-03	

Design by CADLab

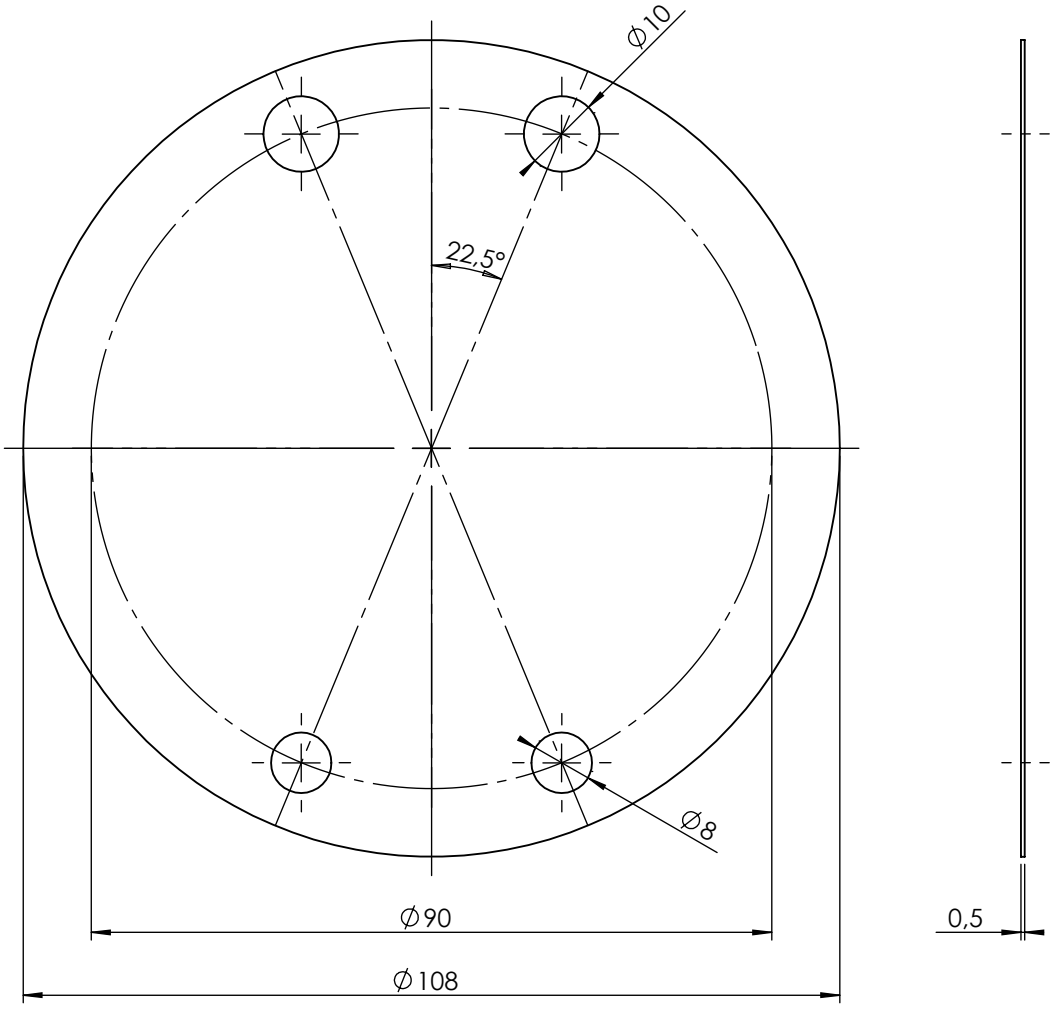


	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Razradio	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Crtao	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Pregledao			

FSB Zagreb

Objekt:	Objekt broj:
	R. N. broj:
Napomena:	Kopija
Materijal: SS316	Masa:
Mjerilo originala 1:2	Naziv: Monopolarna ploča
	Pozicija: 4
	Format: A4
	Listova: 1/1
Crtež broj: 01-04	List: 1

Design by CADLab

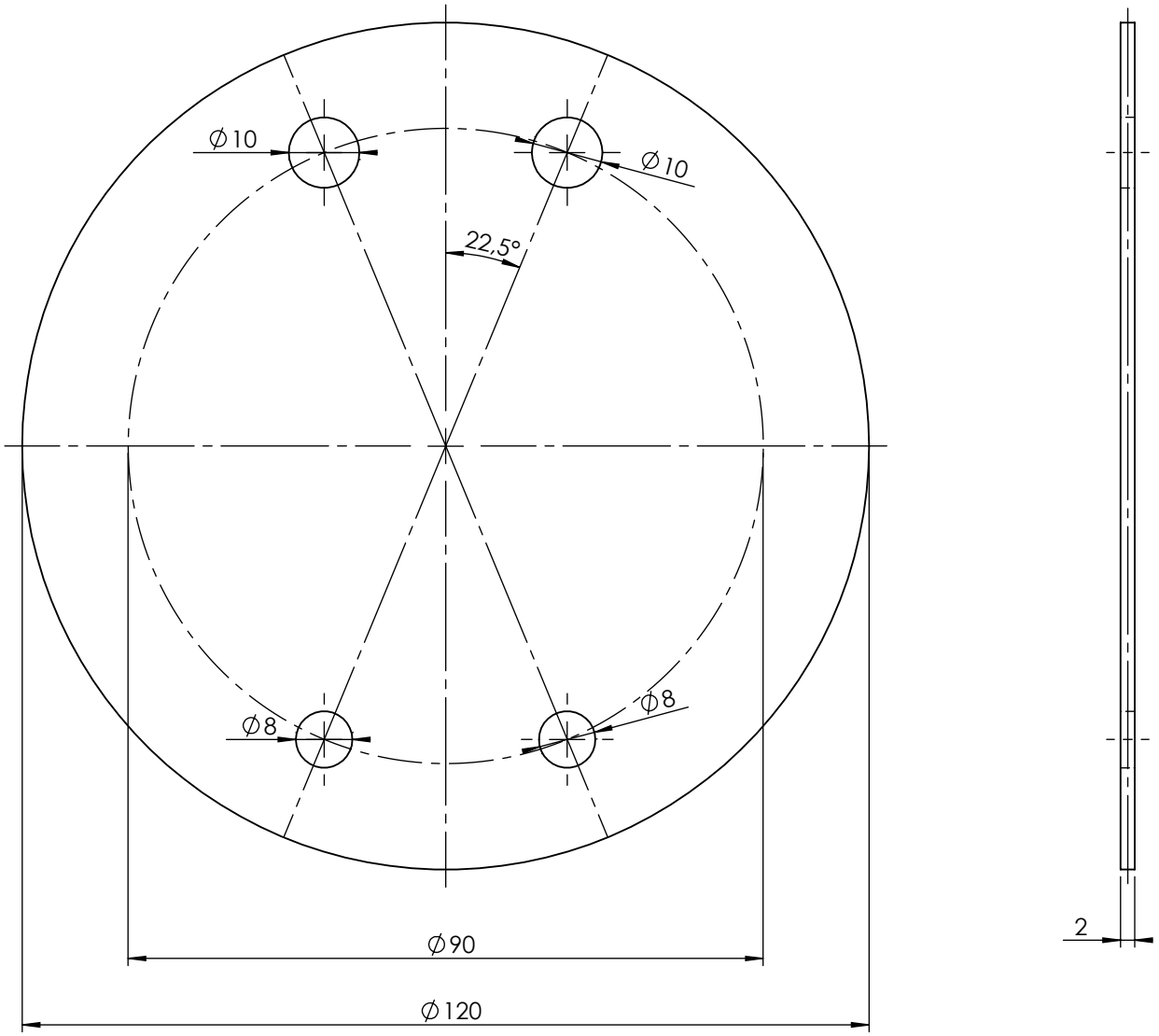


	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Razradio	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Crtao	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Pregledao			

FSB Zagreb

Objekt:	Objekt broj:
	R. N. broj:
Napomena:	Kopija
Materijal: Zirfon	Masa:
Mjerilo originala 1:1	Naziv: Membrana
Pozicija: 5	Format: A4
Listova: 1/1	List: 1
Crtež broj: 01-05	

Design by CADLab

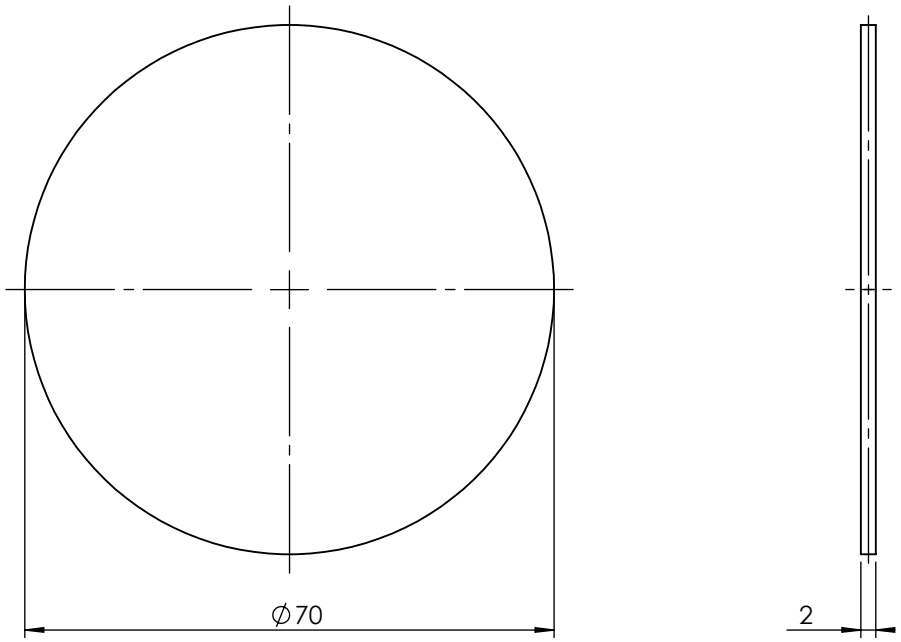


	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Razradio	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Crtao	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Pregledao			

FSB Zagreb

Objekt:	Objekt broj:
	R. N. broj:
Napomena:	Kopija
Materijal: SS316	Masa:
Mjerilo originala 1:1	Naziv: Bipolarna ploča
Pozicija: 6	Format: A4
Listova: 1/1	List: 1
Crtež broj: 01-06	

Design by CADLab

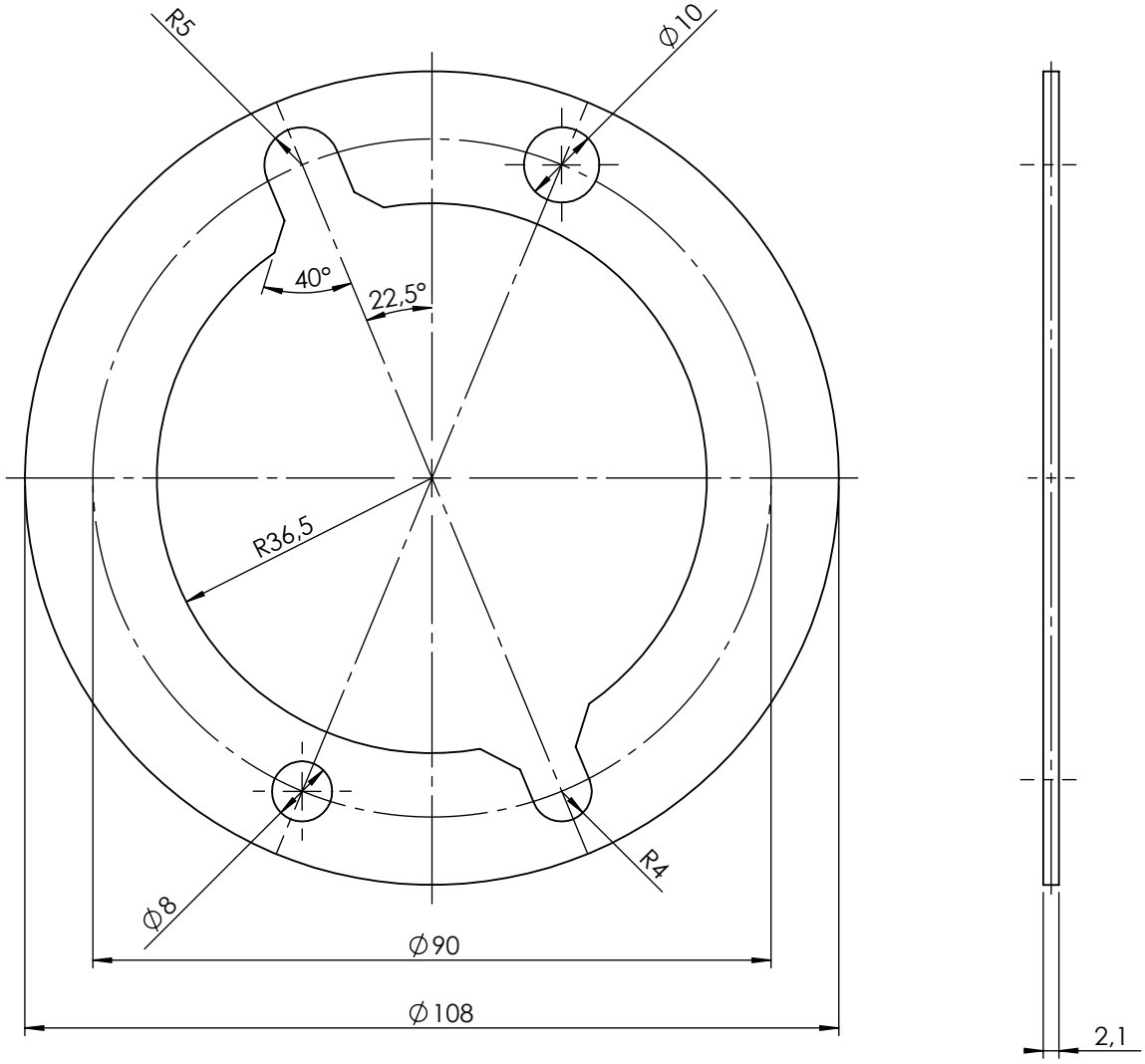


	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Razradio	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Crtao	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Pregledao			

FSB Zagreb

Objekt:	Objekt broj:
	R. N. broj:
Napomena:	Kopija
Materijal: Ni-metalna pijena	Masa:
Mjerilo originala 1:1	Naziv: Elektroda
	Pozicija: 7
	Format: A4
	Listova: 1/1
Crtež broj: 01-07	List: 1

Design by CADLab

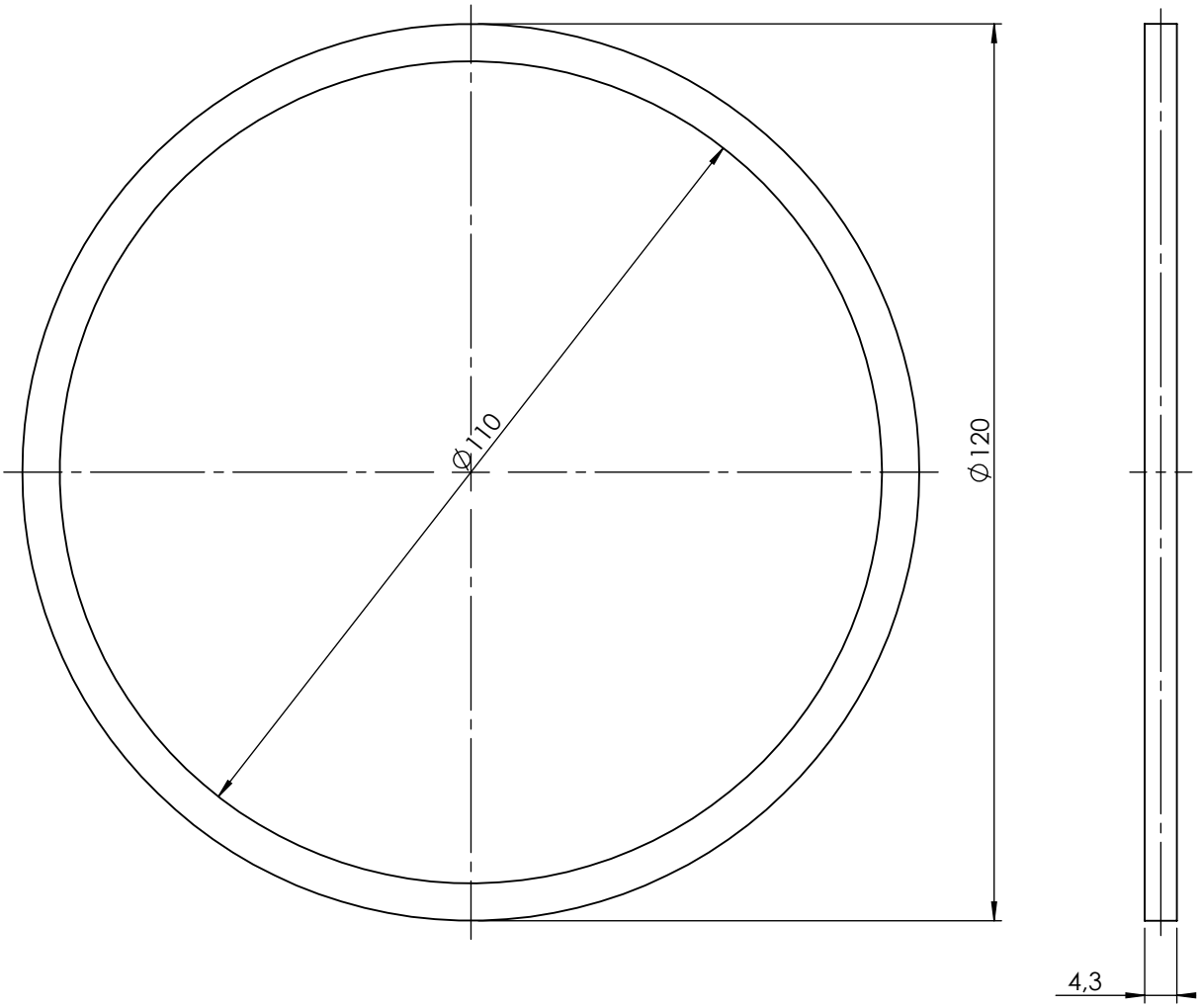


	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	24.02.2016	Tena Maruševac	
Razradio	24.02.2016	Tena Maruševac	
Crtao	24.02.2016	Tena Maruševac	
Pregledao			

FSB Zagreb

Objekt:	Objekt broj:
	R. N. broj:
Napomena:	Kopija
Materijal: Guma	Masa:
Mjerilo originala 1:1	Naziv: Brtva 1
Pozicija: 8	Format: A4
Listova: 1/1	List: 1
Crtež broj: 01-08	

Design by CADLab

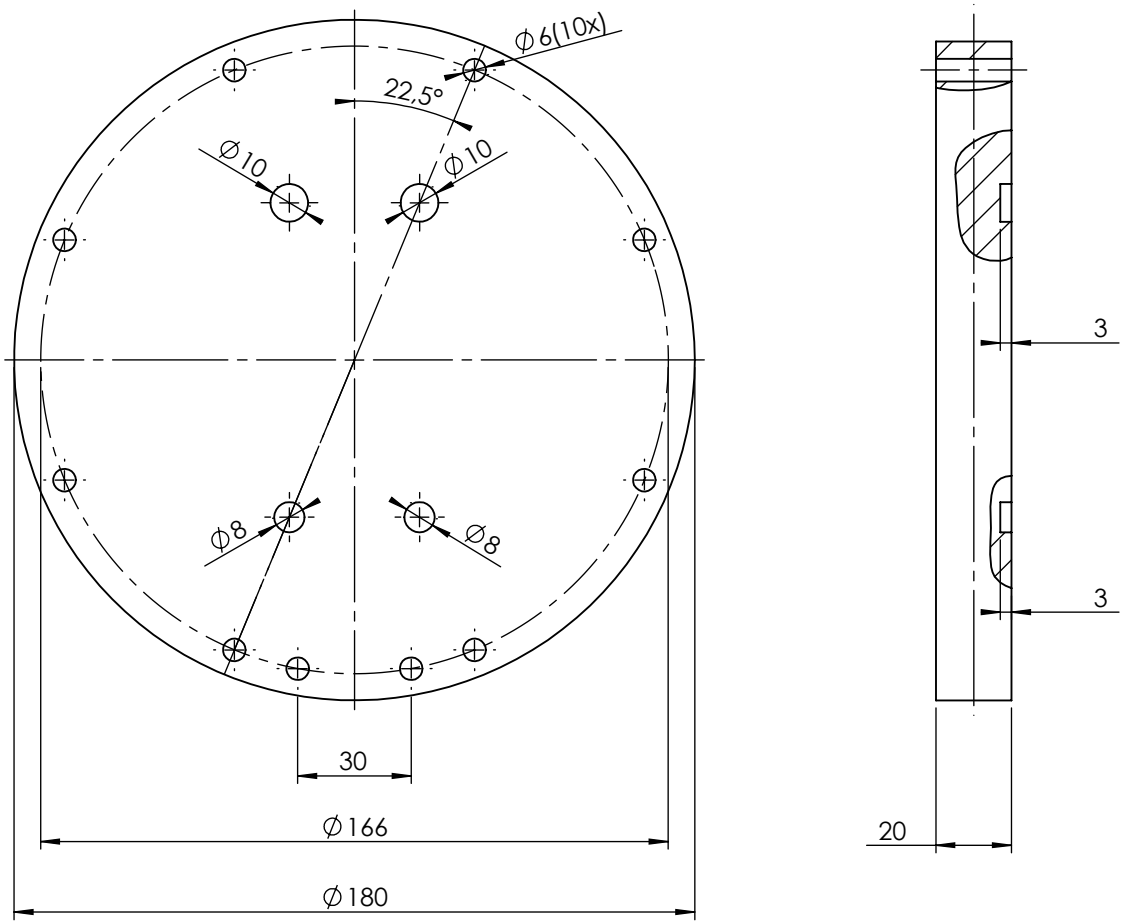


	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Razradio	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Crtao	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Pregledao			

FSB Zagreb

Objekt:	Objekt broj:
	R. N. broj:
Napomena:	Kopija
Materijal: Pleksiglas	Masa:
Mjerilo originala 1:1	Naziv: Prsten od pleksiglasa
Pozicija: 9	Format: A4
Listova: 1/1	List: 1
Crtež broj: 01-09	

Design by CADLab

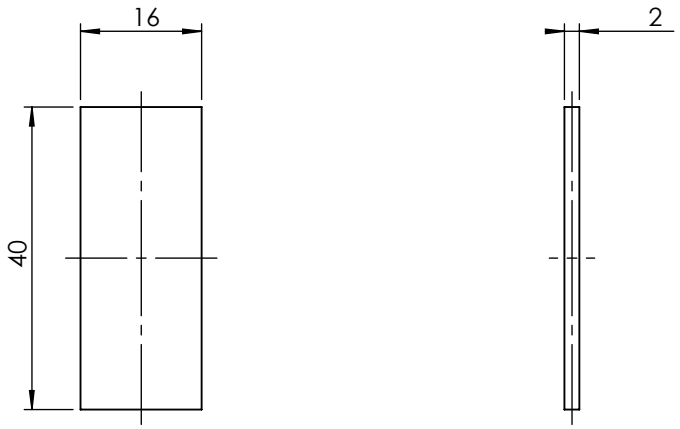


	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Razradio	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Crtao	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Pregledao			

FSB Zagreb

Objekt:	Objekt broj:
	R. N. broj:
Napomena:	Kopija
Materijal: Pleksiglas	Masa:
Mjerilo originala 1:2	Naziv: Krajnja rubna ploča
Pozicija: 11	Format: A4
Listova: 1/1	List: 1
Crtež broj: 01-11	

Design by CADLab



	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Razradio	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Crtao	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Pregledao			

FSB Zagreb

Objekt:	Objekt broj:
	R. N. broj:

Napomena: Zavaruje se na Poz 4 Monopolarna ploča

Kopija

Materijal: SS316	Masa:

Mjerilo originala 1:1

Naziv: Pločica za dovod struje

Pozicija: 11

Format: A4

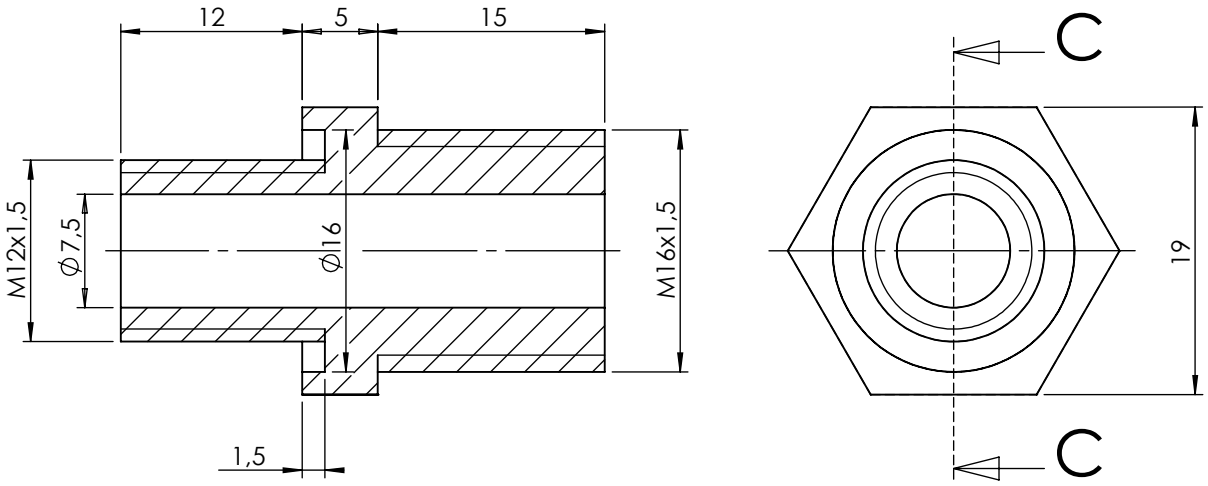
Listova: 1/1

Crtež broj: 01-11

List: 1

Design by CADLab

C-C (2 : 1)



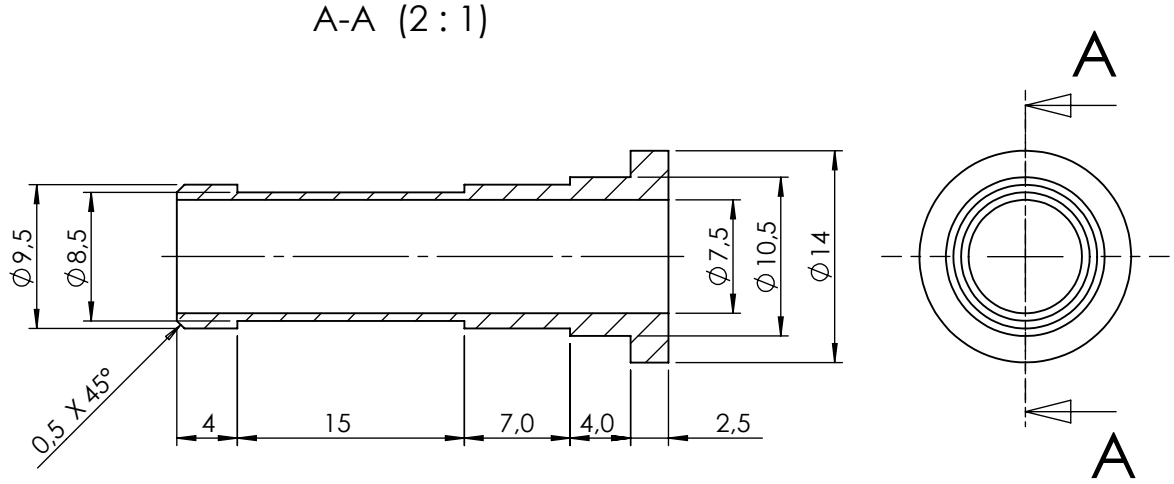
	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Razradio	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Crtao	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Pregledao			

FSB Zagreb

Objekt:	Objekt broj:
	R. N. broj:
Napomena:	Kopija
Materijal: SS316	Masa:
Mjerilo originala	Naziv: Priključak - nepomični dio
Pozicija: 1	Format: A4
Listova: 1/1	List: 1
Crtež broj: 12-1	

Design by CADLab

A-A (2 : 1)



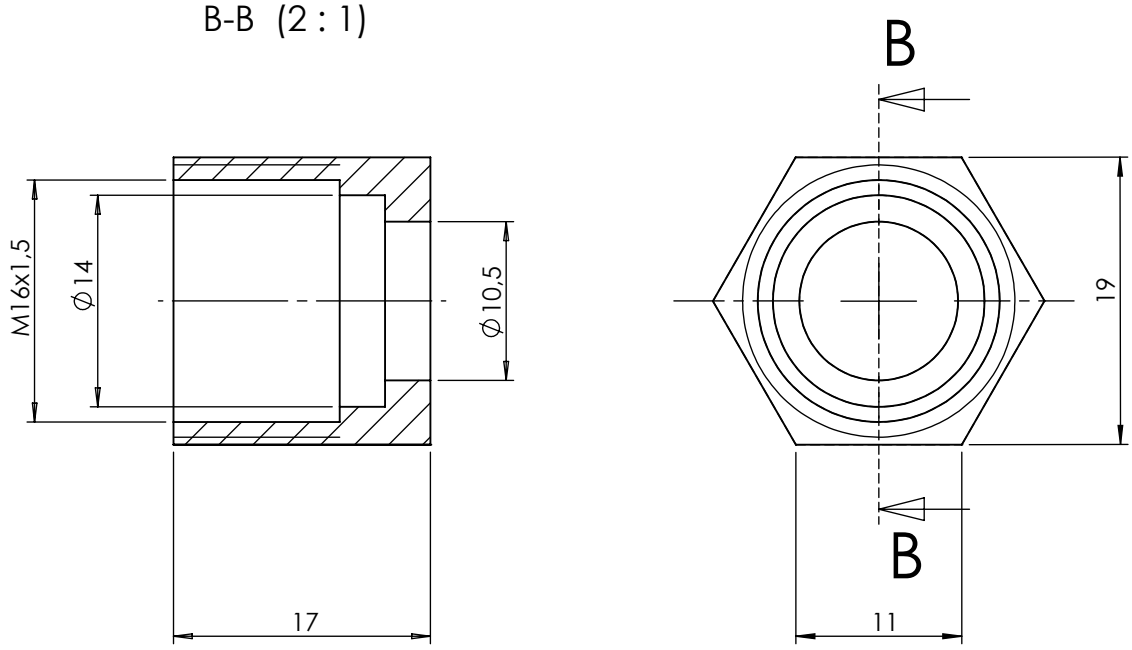
	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Razradio	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Crtao	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Pregledao			

FSB Zagreb

Objekt:	Objekt broj:
	R. N. broj:
Napomena:	Kopija
Materijal: SS316	Masa:
Mjerilo originala	Naziv: Priključak - spojni dio
	Pozicija: 2
	Format: A4
	Listova: 1/1
Crtež broj: 12-2	List: 1

Design by CADLab

B-B (2 : 1)

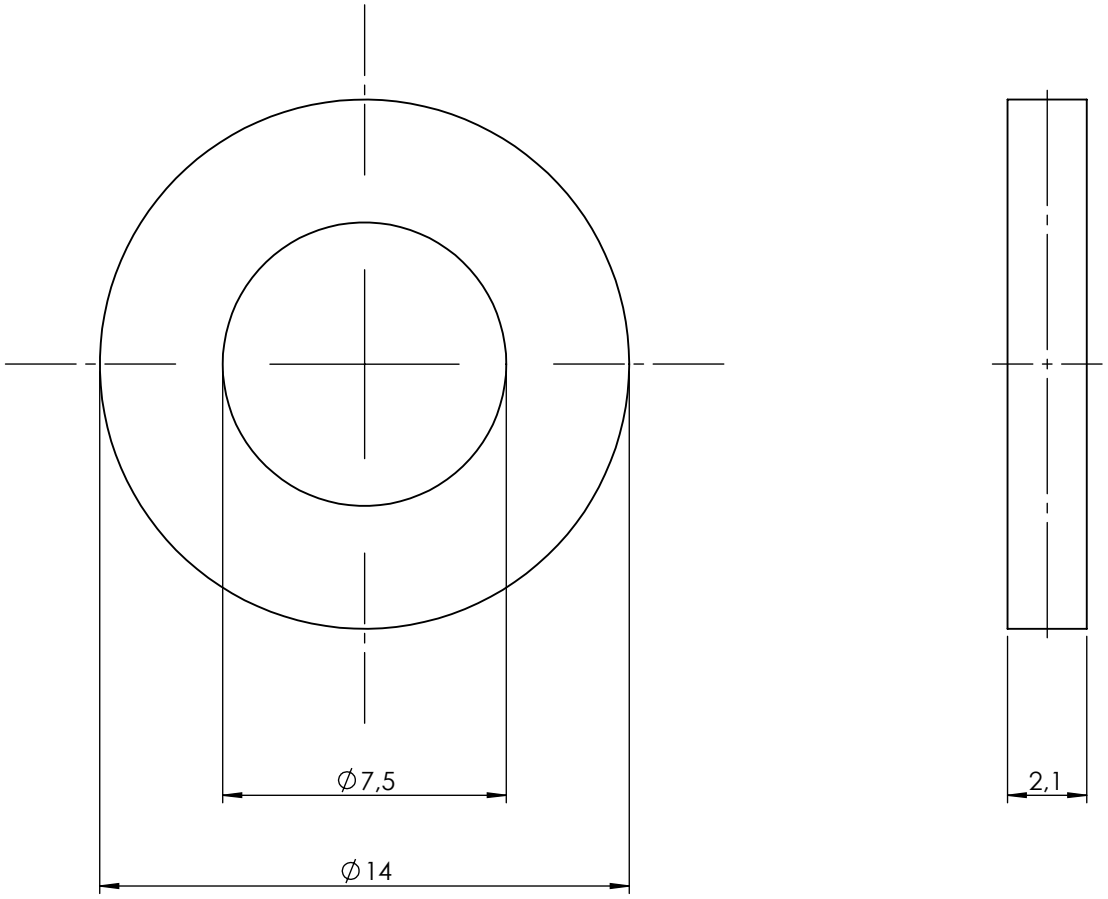


	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Razradio	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Crtao	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Pregledao			

FSB Zagreb

Objekt:	Objekt broj:
	R. N. broj:
Napomena:	Kopija
Materijal: SS316	Masa:
Mjerilo originala 2:1	Naziv: Priključak - Matica
Pozicija: 3	Format: A4
Listova: 1/1	List: 1
Crtež broj: 12-3	

Design by CADLab

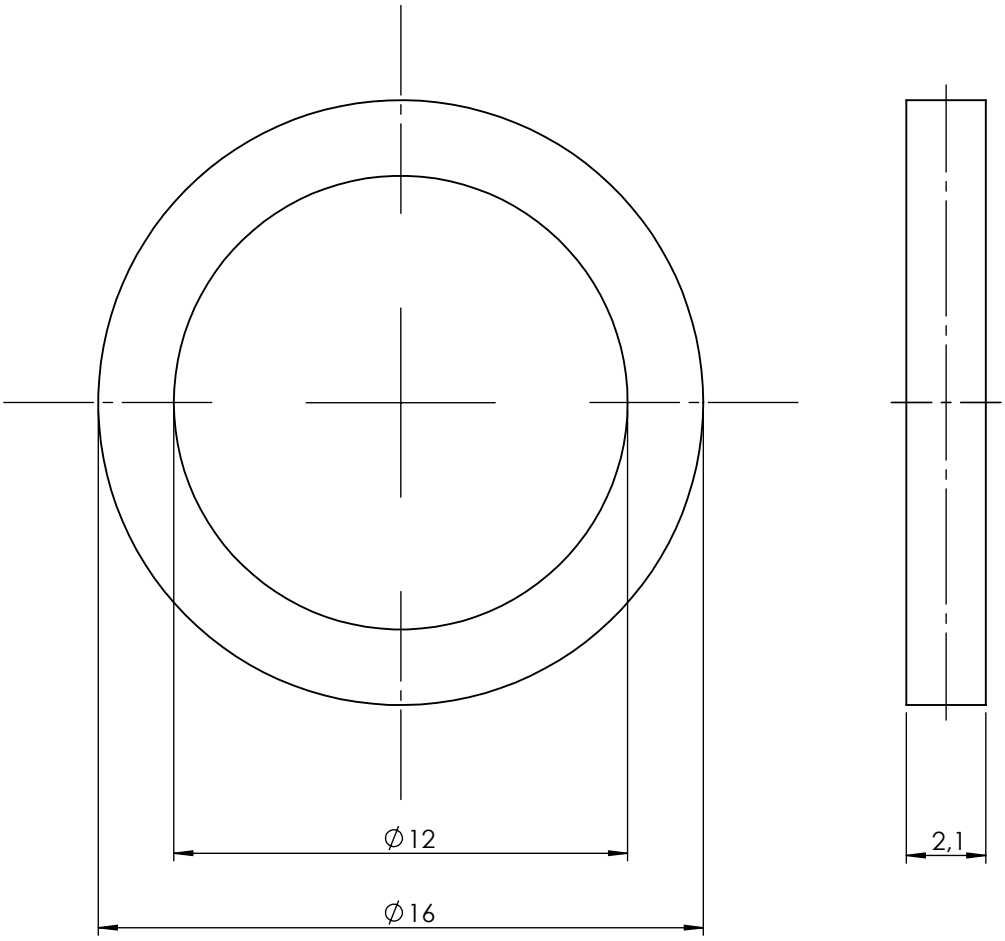


	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Razradio	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Crtao	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Pregledao			

FSB Zagreb

Objekt:	Objekt broj:
	R. N. broj:
Napomena:	Kopija
Materijal: Guma	Masa:
Mjerilo originala 5:1	Naziv: Brtva gumena plosnata
Pozicija: 4	Format: A4
Listova: 1/1	List: 1
Crtež broj: 12-4	

Design by CADLab



	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Razradio	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Crtao	24.02.2016.	Tena Maruševac	
Pregledao			

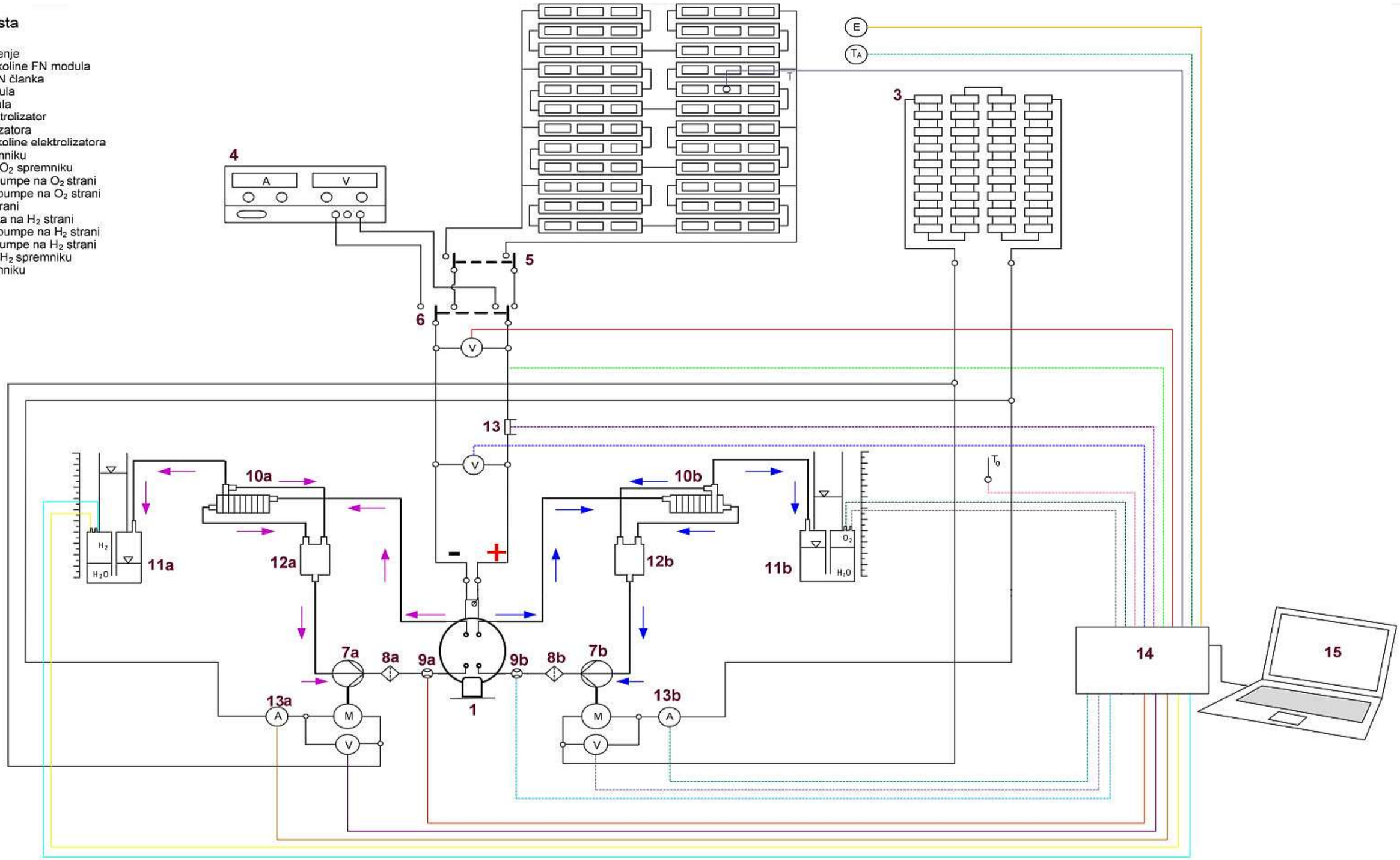
FSB Zagreb

Objekt:	Objekt broj:
	R. N. broj:
Napomena:	Kopija
Materijal: Guma	Masa:
Mjerilo originala 5:1	Naziv: Brtva gumena torusna
Pozicija: 5	Format: A4
Listova: 1/1	List: 1
Crtež broj: 12-5	

Design by CADLab

Mjerna mjesta

- Sunčevo ozračenje
- Temperatura okoline FN modula
- Temperatura FN članka
- Napon FN modula
- Struja FN modula
- Struja kroz elektrolizator
- Napon elektrolizatora
- Temperatura okoline elektrolizatora
- Tlak u O_2 spremniku
- Temperatura u O_2 spremniku
- Struja motora pumpe na O_2 strani
- Napon motora pumpe na O_2 strani
- Protok na O_2 strani
- Protok elektrolita na H_2 strani
- Napon motora pumpe na H_2 strani
- Struja motora pumpe na H_2 strani
- Temperatura u H_2 spremniku
- Tlak u H_2 spremniku



1	Elektrolizator	7b	O_2 centrifugalna pumpa	11a	H_2 spremnik
2	Fotonaponski (FN) modul za napajanje elektrolizatora	8a	H_2 hvatač nečistoća	11b	O_2 spremnik
3	Fotonaponski (FN) modul za napajanje pumpi	8b	O_2 hvatač nečistoća	12a	H_2 međuseparator / rezervoar elektrolita
4	Laboratorijski izvor DC struje	9a	H_2 protokomjer	12b	O_2 međuseparator / rezervoar elektrolita
5	Glavna sklopka	9b	O_2 protokomjer	13	Shunt na elektrolizatoru
6	DC / FN Sklopka	10a	H_2 separator	14	Mjerna centrala